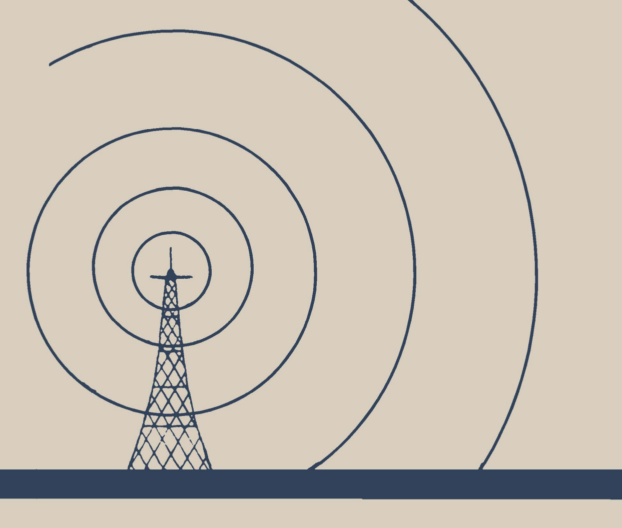


Б. Б. КАЖИНСКИЙ

СВОБОДНОПОТОЧНЫЕ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Зависимость расхода (Q *м³/сек*) и мощности (N *квт*) речного потока от средней скорости течения (v *м/сек*) и площади поперечного сечения (F *м²*) речного потока

Средняя скорость течения реки		Динамический напор $H=\frac{v^2}{2g}$	Произведение 9,81 H	Расход $Q=F\cdot v$ *м³/сек* и мощность $N=9{,}81\ H\cdot Q$ *квт* речного потока с поперечным сечением:									
				$F=1$ *м²*		$F=5$ *м²*		$F=20$ *м²*		$F=30$ *м²*		$F=40$ *м²*	
v, *м/сек*	v^2			Q	N	Q	N	Q	N	Q	N	Q	N
0,8	0,64	0,032	0,314	0,8	0,25	4	1,25	16	5	24	8	32	10
1,0	1,00	0,051	0,500	1,0	0,50	5	2,50	20	10	30	15	40	20
1,2	1,44	0,073	0,716	1,2	0,86	6	4,30	24	17	36	26	48	34
1,4	1,96	0,100	0,981	1,4	1,37	7	6,87	28	28	42	41	56	55
1,6	2,56	0,131	1,285	1,6	2,06	8	10,28	32	41	48	62	64	82
1,8	3,24	0,175	1,717	1,8	3,09	9	15,45	36	62	54	93	72	123
2,0	4,00	0,204	2,000	2,0	4,00	10	20,00	40	80	60	120	80	160
2,2	4,84	0,247	2,423	2,2	5,33	11	26,65	44	107	66	160	88	213
2,4	5,76	0,294	2,877	2,4	6,90	12	34,50	48	138	72	207	96	276
2,6	6,76	0,345	3,384	2,6	8,80	13	44,00	52	176	78	264	104	352
2,8	7,84	0,400	3,924	2,8	10,99	14	54,90	56	219	84	330	112	440
3,0	9,00	0,459	4,503	3,0	13,51	15	67,50	60	270	90	405	120	540
3,2	10,24	0,524	5,140	3,2	16,45	16	82,20	64	329	96	494	128	658

Примечания: 1. Чтобы получить значения расхода и мощности, соответствующие поперечному сечению потока, разнящемуся от указанных в таблице, достаточно цифры столбца, относящегося к $F=1$ *м²*, умножить во столько раз, во сколько площадь интересующего нас поперечного сечения потока больше, чем 1 *м²*.

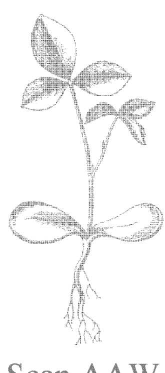
2. На стр. 3 обложки этой книги помещена справочная таблица мощности (N *квт*) гидророторов свободнопоточной водносиловой установки при их к. п. д. $\eta=0{,}5$ в зависимости от средней скорости течения v *м/сек*) и суммарной площади проекции гидророторов $\sum F$.

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 57

Б. Б. КАЖИНСКИЙ

СВОБОДНОПОТОЧНЫЕ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1950 ЛЕНИНГРАД

В книге рассматриваются простейшие водносиловые установки малой мощности. Излагаются расчет и способы конструирования свободнопоточных гидроустановок, не требующих устройства плотины.

Полученные от подобных установок мощности достаточны для удовлетворения нужд точечного электроосвещения, зарядки аккумуляторов радиосвязи и т. д.

Книга предназначается для проектировщиков, работающих в области сельской электрификации и радиофикации, колхозного актива и широких кругов колхозной общественности.

Редактор *О. Н. Тистрова.* Технич. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в набор 4/X 1949 г. Подписано к печати 13/III 1950 г.
Объем 4 1/2 п. л., уч.-изд. л. 4 Тип. зн. в 1 п. л. 35 200
Т-02037 Формат бумаги 84×108 1/32 Тир. 25 000 экз. (1 завод 1—7000) Заказ 2344

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Запасы водной энергии речных систем СССР определяются более чем в 300 млн *квт* (по данным 1940 г.[1]). Это в 3,7 раза больше речных энергетических запасов США, в 15 раз превышает запасы Канады, в 33 раза — запасы Франции. Наша родина является самой богатой страной в мире по запасам гидравлической энергии.

«Эффективный» запас гидроэнергии, т. е. запас, использование которого легко осуществимо, составляет для нашей страны 65 млн. *квт*. При этом запасы энергии только «малых» рек, имеющих непосредственное отношение к рассматриваемым в книге вопросам, исчисляются в 26 млн. *квт*. Огромное количество населенных пунктов нашей страны расположено по берегам рек, энергия которых может и должна широко использоваться для получения небольших мощностей (порядка сотен ватт или единиц киловатт), без необходимости возведения сложных, дорого стоящих гидротехнических сооружений.

Полученные мощности будут достаточными, например, для удовлетворения нужд точечного электроосвещения, зарядки аккумуляторов радиосвязи и т. д.

Подобное использование рек возможно при создании простейших водносиловых установок (очень малой мощности), способы изготовления которых доступны силам и средствам колхозов, совхозов и даже отдельных заинтересованных в этом коллективов.

В этом отношении наиболее доступными являются так называемые свободнопоточные гидроустановки, не требующие устройства плотины, а использующие живую силу быстротекущих рек непосредственно

В данной работе содержится краткий обзор различных конструкций свободнопоточных гидроустановок, приведено подробное описание установки с применением гидроротора, а также описание электрической части станции.

Описываемый в книге гидравлический двигатель (гидроротор) на практике еще не был опробован, но в лабораторных условиях показал положительные результаты. Последнее обстоятельство дает возможность рекомендовать его к изготовлению, в то же время будущие строители свободнопоточных установок не гарантированы от неприятных неожиданностей или некоторых неудач, которые им придется преодолевать в процессе строительства

Автор

---

[1] К вопросу комплексного использования малых рек Советского Союза, вып. 1, изд. Академии наук СССР, 1940 г., стр. 7.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОТ СТАРИННЫХ ПЛОВУЧИХ МЕЛЬНИЦ К СОВРЕМЕННЫМ СВОБОДНОПОТОЧНЫМ ГИДРОУСТАНОВКАМ

1 „БАЙДАЧНЫЕ“ ВОДЯНЫЕ КОЛЕСА

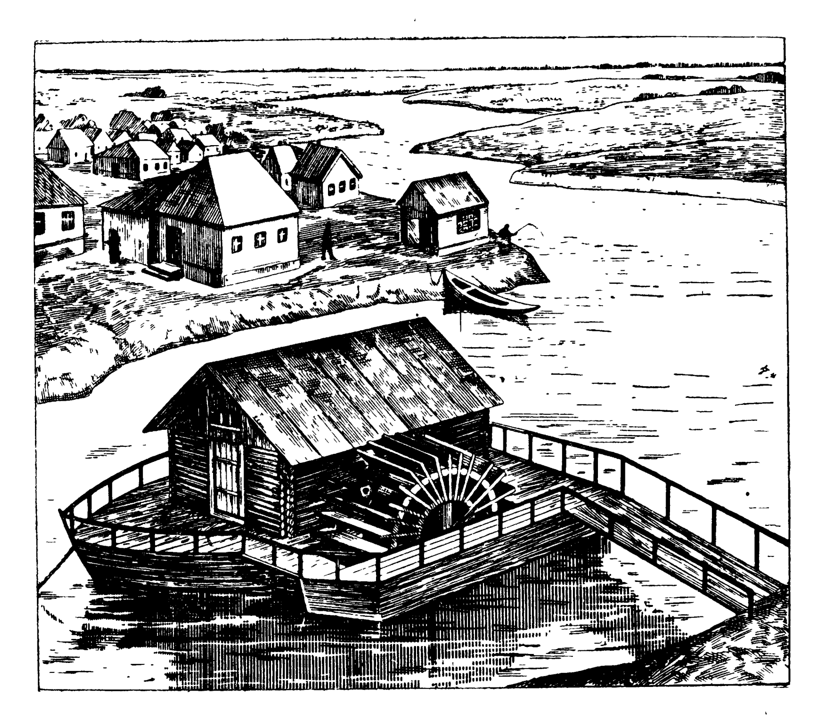
В нашей стране до сих пор кое-где на реках Днепр, Кура и др. работают так называемые «байдачные» водяные колеса, т. е. пловучие водяные двигатели в виде подливного колеса старинного типа, установленного на двух поплавках или байдарах (фиг. 1). Лопатки нижней части колеса, погруженные в водяной поток между двумя поплавками, перемещаются силой течения и создают вращение колеса. Колесо укреплено на главном горизонтальном валу в подшипниках, размещенных на двух жестко соединенных друг с другом поплавках. При помощи зубчатой передачи вращение вала передается жерновам мельничного постава и другим станкам или машинам. Так устроены старинные поплавковые водяные мельницы, использующие живую силу свободного речного течения для размола зерна.

Свободнопоточные гидросиловые установки имеют своим основным преимуществом именно отсутствие надобности в плотине, водоподводящем устройстве и водоотводе. Поплавковые установки могут работать и при половодьи, чего иногда не в состоянии сделать гидроустановки обычного плотинного типа. Кроме того, байдачные водяные колеса могут использовать большую ширину потока при относительно малой глубине погружения лопаток. Однако, недостатком старинных конструкций свободнопоточных установок являются их чрезмерная громоздкость и тихоходность рабочего колеса (10—16 об/мин).

В настоящее время недостатки эти частично устранены в конструкциях, разработанных советскими научно-иссле-

довательскими институтами, отдельными учеными и изобретателями.

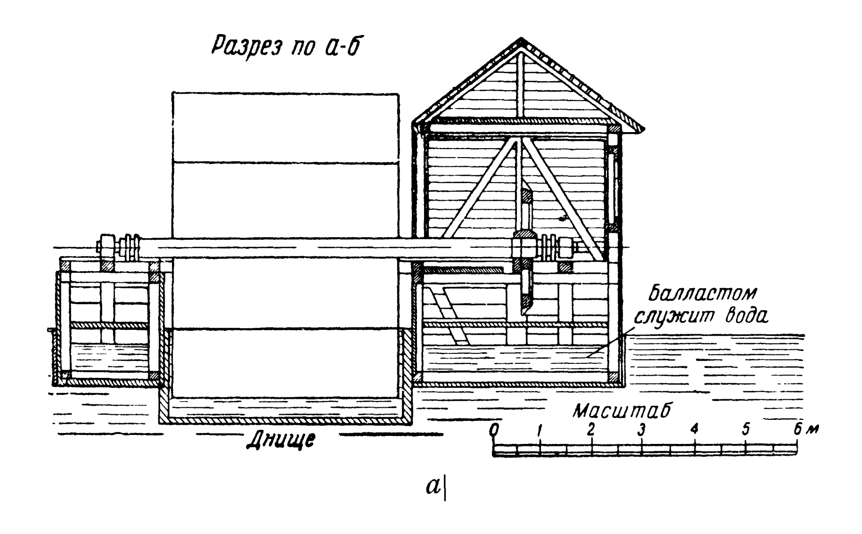
В 1926 г. на конкурсе Наркомзема II премию получил проект свободнопоточной гидроэлектростанции (авторы Б. Б. Кажинский и С. И. Котельников). В осно-



Фиг. 1. Свободнопоточная поплавковая установка байдачного типа с водяным подливным колесом старинной конструкции.

ву этого проекта была также положена идея байдачного колеса на поплавках со следующими усовершенствованиями (фиг. 2).

Для улучшения условий работы водяного колеса в потоке, сжатом стенками канала, образовавшегося между двумя поплавками, стенки эти расположены не параллельно друг другу (как в старинных устройствах), а под некоторым углом. При этом входная сторона канала делается у́же выходной. Внизу между обоими килями поплавков устроен донный щит с небольшим наклоном



Фиг. 2. Свободнопоточная гидросиловая установка байдачного типа с модернизованным водяным колесом по проекту Б. Б. Кажинского и С. И. Котельникова (премированному на конкурсе Наркомзема в 1926 г.)

вниз, считая от входа воды в канал. Вследствие этого получается рабочий канал, имеющий вид раструба с полезным расширением от верховой — входной стороны к низовой — выходной. Вместе с тем донный щит предохраняет грунт дна реки от размыва завихрениями водяного потока, отходящими от работающих лопаток колеса. Донный щит способствует также увеличению жесткости системы двух поплавков.

Для того чтобы гидроустановка могла работать и зимой при замерзшей поверхности реки, водяное колесо перекрывают тепляком в виде сделанной из шелевок коробки с дном, обращенным вверх. Внутри тепляка размещены электропечи, поддерживающие температуру крытого помещения (в котором вращается колесо) на 5—10° выше нуля. Этого достаточно, чтобы вращающиеся лопатки колеса не покрывались льдом. Своей нижней открытой частью коробка тепляка, защищающего колесо от обмерзания, прилегает близко к поверхности льда реки. Края коробки снаружи утеплены насыпкой из навоза. Само колесо работает в прямоугольной проруби, которая благодаря подобному утеплению не покрывается ледяной коркой. Предусмотрено приспособление для свободного хода колеса зимой, чтобы в случае прекращения работы станции колесо могло продолжать вращаться (вхолостую), вследствие чего лопасти не будут обмерзать.

Намечены приспособления, автоматически сохраняющие равномерность вращения водяного колеса при внезапных изменениях нагрузки или при увеличении скорости течения воды в реке (увеличение это происходит при половодьи). Для этого центробежный регулятор, приводимый в движение от водяного колеса, включает в действие электронасос, накачивающий (или выкачивающий) воду внутрь поплавков, чем достигается изменение степени погружения в воду рабочих лопаток колеса. Здесь вода играет роль груза-балласта. Так, в нормальное время вода внутри поплавков находится на таком уровне, который обеспечивает полное погружение лопаток нижней части колеса в воду. При половодьи же часть воды выкачивается наружу. Вследствие этого осадка поплавков делается меньше, лопатки погружаются в воду не на полную глубину, мощность колеса снижается. Поскольку при этом нагрузка не уменьшилась, а осталась прежней, число оборотов водяного колеса не может возрастать и остается неизменным

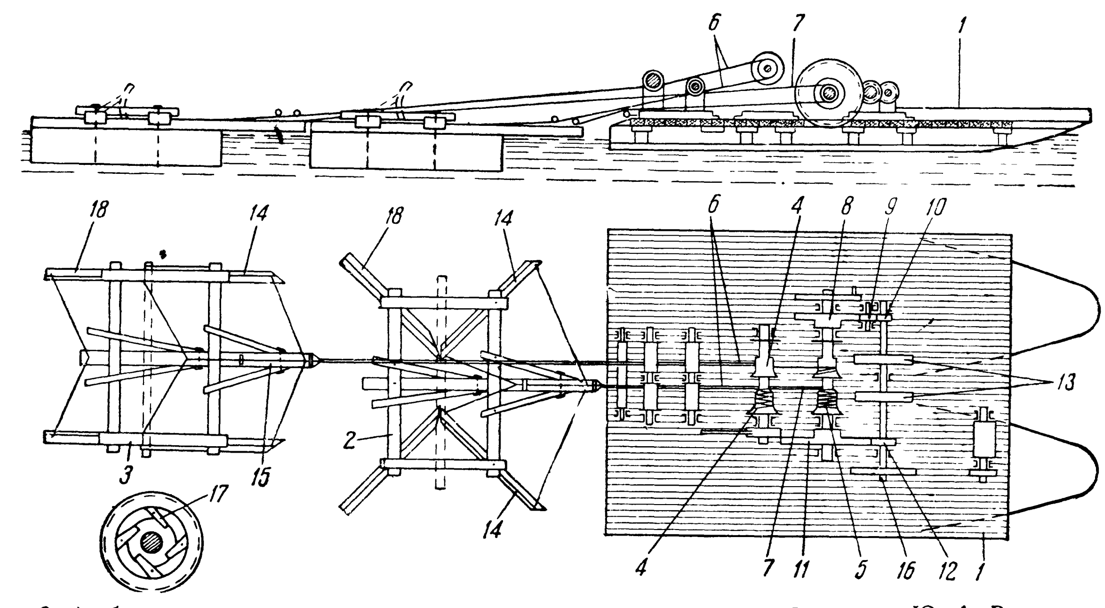
Каждая лопатка модернизованного водяного колеса снабжена шарнирной створкой, подвешенной по всей длине лопатки на ее краю и открывающейся при нижнем положении лопатки. Благодаря этому рабочая поверхность лопатки увеличивается. По усмотрению механика станции створки могут быть заклинены в закрытом положении, когда, например, нет надобности в повышенной мощности установки. Если же возникла надобность в увеличении мощности, створки высвобождают от заклинивания и они вступают в действие, увеличивая мощность колеса. В верхнем своем положении створки складываются, не увеличивая радиуса верхней половины колеса. Это позволяет делать тепляк над колесом (на зиму) ограниченных размеров.

Имея электронасос для автоматического регулирования степени погружения поплавков (помощью водяного балласта), установка в состоянии питать водой береговой водопровод или подавать воду для полива огородов или орошения полей.

Начиная с 1940 г., когда советскими учеными был испытан на реке новый роторного типа гидродвигатель, водяные колеса даже модернизованного типа, вследствие их чрезвычайной громоздкости и большого расхода материалов, благодаря развиваемой ими сравнительно малой мощности, стали экономически менее выгодными и отныне не могут быть рекомендованы к применению в качестве свободнопоточных гидроэлектростанций. Подробнее о сравнении их с гидророторами говорится далее (на стр. 35).

2. ЩИТЫ-ТЯГАЧИ КОНСТРУКЦИИ инж. Ю. А. ВАСИЛЕВСКОГО

Попытку найти иное решение задачи использования живой силы свободного речного потока с помощью щитов-тягачей сделал Ю. А. Василевский (авт. св. № 5580 от 3/IX 1939 г.). На большом заякоренном поплавке (фиг. 3) расположен механизм в виде системы канатных барабанов с автоматическим переключением их хода вращения. Это нужно для преобразования возвратно-поступательного движения тяговых тросов во вращательное движение трансмиссии. Делается это так. На некотором расстоянии от большого поплавка, вниз по течению располагаются друг за другом еще два незаякоренных поплавка, называемых «тягачами» *2* и *3*. От этих тягачей



Фиг. 3. Свободнопоточная гидросиловая установка со щитами-„тягачами“ системы Ю. А. Василевского.

1 — большой или главный поплавок; *2* — поплавок-„тягач“ первый (щиты закрыты); *3* — поплавок-„тягач“ второй (щиты открыты); *4* барабанный вал со шкивами-барабанами, имеющими холостой ход в одну сторону вращения; *5* — главный вал с рабочими шкивами-барабанами и большими зубчатыми колесами; *6* — тросы, управляющие положением щитов; *7* — тяговой трос от первого „тягача“; *8* — зубчатое колесо привода от второго „тягача“; *9* — промежуточная трансмиссия; *10* — зубчатая шестерня главной трансмиссии для привода от второго „тягача“; *11* — зубчатое колесо для привода от первого „тягача“; *12* — шестерня главной трансмиссии для привода от первого „тягача“; *13* — два шкива ременной передачи на различные станки и машины; *14* и *18* — первая пара шарнирных щитов „тягача“; *15* — рама „тягача“, *16* — ременной шкив для генератора; *17* — храповик с собачками, позволяющими вращаться валу со шкивами *4* только в одну сторону.

к первому поплавку протянуты тросы, навивающиеся на барабаны большого поплавка. Пространство-канал между двумя поплавками каждого из тягачей может закрываться и открываться посредством двух пар створчатых щитов *14* и *18*. Для облегчения складывания и раскрывания каждый щит подвешен к раме поплавка-тягача в одной точке шарнирообразно. С помощью отдельного длинного троса *7* каждая пара щитов прикреплена к своему ведомому барабану на главном (первом) поплавке. Для возможности автоматического управления щитами *14—18*, без применения упорных хомутов на тросах *6*, идущих от передних концов каждой пары щитов, на барабанном валу имеются шкивы *4* с холостым ходом в одну сторону. Шкивы эти выполнены тоже в виде барабанов, спаренных с основными ведомыми барабанами через зубчатое колесо *11*.

Тросы *6* устроены так, что когда щиты одного тягача закрыты, то у другого они автоматически открываются. По этой причине тягач с закрытыми щитами, представляя большее сопротивление потоку воды, чем тягач с открытыми щитами, уходит на некоторое расстояние вниз по реке и этим перетягивает «открытый» тягач вверх по течению. Когда с барабана *5* смотается трос на всю длину, равную рабочему ходу первого («закрытого») тягача (около 20 *м*), створки на нем автоматически открываются, а на втором тягаче — закрываются. Теперь этот второй тягач уходит вниз по реке, перетягивая собой первый уже «открытый» тягач, и такое чередование продолжается все время. Главный вал рабочей трансмиссии *10—16* вращается в одну и ту же сторону.

Прежде всего надо сказать, что подобная гидроустановка применима только на широкой и многоводной реке. Здесь требуется простор не только вдоль по фарватеру реки, но и поперек ее течения. Створчатые щиты при закрывании должны захватывать большую ширину водотока, чтобы их тяговое усилие было ощутительным в смысле получения достаточно большой полезной мощности на валу трансмиссии

Расчеты показывают, что для получения полезной мощности в 20 *квт* при скорости течения 2 *м/сек* и при к. п. д. 0,12 площадь погруженной в воду части створчатых щитов должна быть не менее 40 $м^2$. Если щиты погружены на 1 *м*, то общая длина рабочей проекции щитов каждого тягача должна быть не менее 40 *м*.

В результате можно сделать такой вывод: поскольку эта мощность получается за счет такого большого усложнения, каковым по существу являются три поплавка с сильно развитой системой многочисленных блоков, барабанов, щитов, тросов и т. п., то это устройство по своей сложности превосходит все известные до сего времени устройства свободнопоточных гидроустановок, не представляя по сравнению с ними никаких особенных преимуществ. Вполне ясно, что в зимнее время работа подобного устройства совершенно невозможна и меры по защите его от аварии при ледоходе будут гораздо более сложными, чем те, которые должны быть предприняты для других типов свободнопоточных установок.

3. СВОБОДНОПОТОЧНАЯ ГИДРОУСТАНОВКА С ПРОПЕЛЛЕРНОЙ ТУРБИНОЙ

Мы рассказали о способах использования (на поплавках) щитов и водяных колес. Перейдем теперь к описанию такого же использования гидротурбин. Но прежде поясним, в чем заключается разница между водяным колесом и турбиной.

Водяные (гидравлические) двигатели, в зависимости от их конструктивных особенностей и характера протекания струи воды через их рабочие органы, разделяются на водяные колеса и водяные турбины.

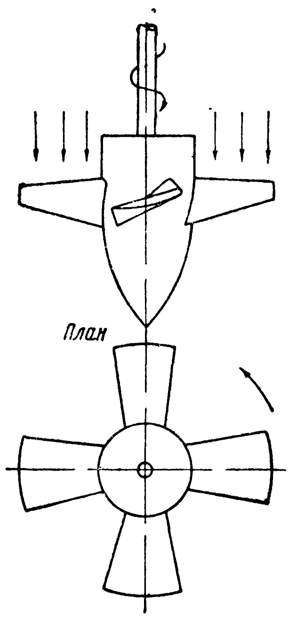
Основное свойство водяных колес заключается в том, что для их вращения используется вес или давление воды, заполняющей ковши (или промежутки между лопатками) одной части колеса, тогда как ковши другой части в этот момент не наполнены или лопатки не испытывают давления воды. Водяные колеса относятся к числу наименее совершенных гидравлических двигателей. Они громоздки, поэтому на их постройку требуется сравнительно много материала. Они слишком тихоходны, так как делают 10—16 об/мин. Для привода в движение быстроходных машин от таких колес (в том числе, например, для электрогенераторов) нужны сложные передачи, в которых теряется значительная часть мощности колеса. Поэтому, хотя к. п. д. водяных колес колеблется от 0,18 до 0,80, но под влиянием потерь энергии на передачу он снижается до 0,13—0,53 для всей установки.

Водяные турбины относятся к более совершенным гидравлическим двигателям. Они менее громоздки и бо-

лее быстроходны, чем водяные колеса. Обладая высоким к. п. д. от 0,75 до 0,90, водяные турбины обеспечивают общий к. п. д. всей гидросиловой установки от 0,63 до 0,85.

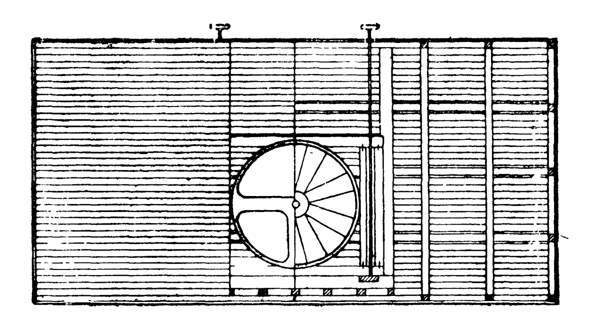
Для свободнопоточных установок, представленных ниже, применены пропеллерные турбины.

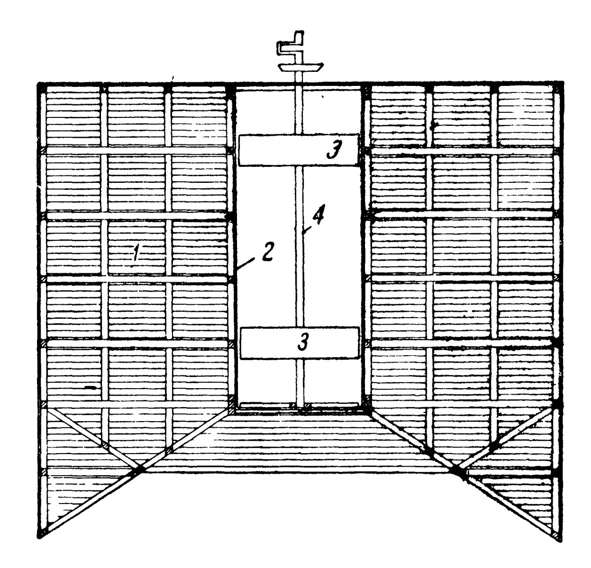
Рабочее колесо пропеллерной турбины (фиг. 4) имеет несколько изогнутых лопастей, которые сделаны наподобие лопастей гребного винта парохода. В поперечном разрезе каждая лопасть имеет обтекаемый профиль, т. е. переднюю закругленную кромку и заднюю — заостренную. Благодаря плавному обтеканию струей такая лопасть оказывает сравнительно небольшое сопротивление струе и этим обеспечивает высокий к. п. д. двигателя порядка 0,75—0,90.



Фиг. 4. Схема рабочего колеса пропеллерной гидротурбины с четырьмя лопастями, имеющими обтекаемую форму поперечного профиля.

Что касается использования пропеллерной турбины для свободнопоточной гидроустановки, то следует отметить, что приоритет этой идеи незаслуженно приписывается австрийскому инженеру Зюессу, испытавшему в 1925 г. на реке Дунай свою конструкцию такой свободнопоточной установки. Еще в 1908 г. Ф. П. Моргуненков, а затем в 1910 г. В. Александров и А. Есаев получили русский государственный патент (привилегия № 16942 от 31/III 1910 г.), устанавливающий их авторские права на свободнопоточную гидроустановку с пропеллерной турбиной. Таким образом, приоритет этой идеи также принадлежит русской гидротехнике. По проекту, разработанному В. Александровым и А. Есаевым (фиг. 5), в промежутке между двумя понтонами расположена горизонтальная ось, направленная вдоль по течению, с двумя насаженными на эту ось пропеллерными



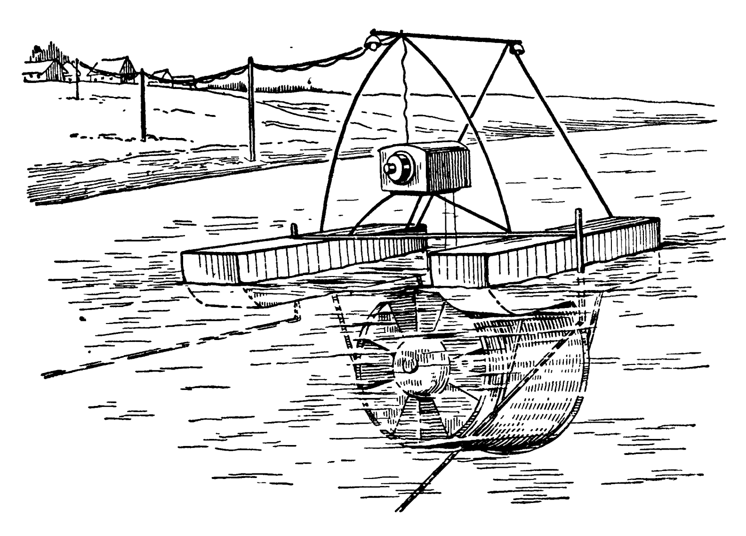


Фиг. 5. Свободнопоточная гидросиловая установка системы В. Александрова и А. Есаева с пропеллерными турбинами. В верхней части рисунка показан вид рабочего канала спереди: внизу — план станции:

1 — спаренные деревянные понтоны; *2* — стенки рабочего канала; *3* — две пропеллерные турбины; *4* — главный вал, на конце которого имеется коническое зубчатое колесо и кривошип для передачи движения приводимым станкам и машинам.

турбинами. Одна турбина помещается у входа в канал между поплавками, а другая — у выхода.

В период с 1934 по 1938 гг. С. В. Каплинским в МЭИ проводились исследования по техническому использованию кинетической энергии водного потока и различных приспособлений, повышающих отдачу пропеллерных свободопоточных турбин.



Фиг. 6. Цельнометаллическая заводского изготовления свободнопоточная гидроэлектростанция с пропеллерной турбиной конструкции К. Ф. Костина.

В итоге выполненных исследований, проводившихся по заданию Наркомвода, была на карчеподъемнице оборудована опытная пловучая ГЭС мощностью 12 *квт*. Испытание ГЭС на р. Оке у Серпухова показало полную возможность применения подобных установок без плотины в районах рек со скоростями течения свыше 1,8 *м/сек* и глубинами воды не менее 1,6 *м*. Дальнейшая реализация установки проводилась на реках Сибири инж. И. Г. Соколовым.

В 1939 г. завод «Электросила» в Ленинграде изготовил опытный образец свободнопоточной гидроэлектростанции конструкции инженера К. Ф. Костина с пропеллерной турбиной диаметром 1,5 *м* (фиг. 6). Турбина рас-

положена в металлическом кожухе, имеющем вид раструба, своим узким концом направленного навстречу течению воды в реке. Подшипники главного вала, изготовленные из текстолита, рассчитаны на смазку водой из омывающего их потока. Турбинная установка прикреплена к двум жестко связанным между собой металлическим понтонам, выполненным в виде полых продолговатых ящиков. Водоизмещение их принято с учетом одновременного нахождения на понтонах двух человек. Вращение турбины передается электрогенератору серийного типа (1 000 об/мин.) с помощью цепи Галля.

Для остановки турбины предусмотрен ленточный тормоз. Перед входом в турбину прикреплена металлическая сетка, предохраняющая от попадания в турбину плавающего в воде мусора и твердых предметов. Общий вес этого образца установки — 1 250 *кг*.

В 1945 г инженер С. П. Клыковский разработал цельнометаллическую конструкцию свободнопоточной гидроэлектростанции малой мощности с пропеллерной турбиной, предназначенную для заводского изготовления (фиг. 7 и табл. 1).

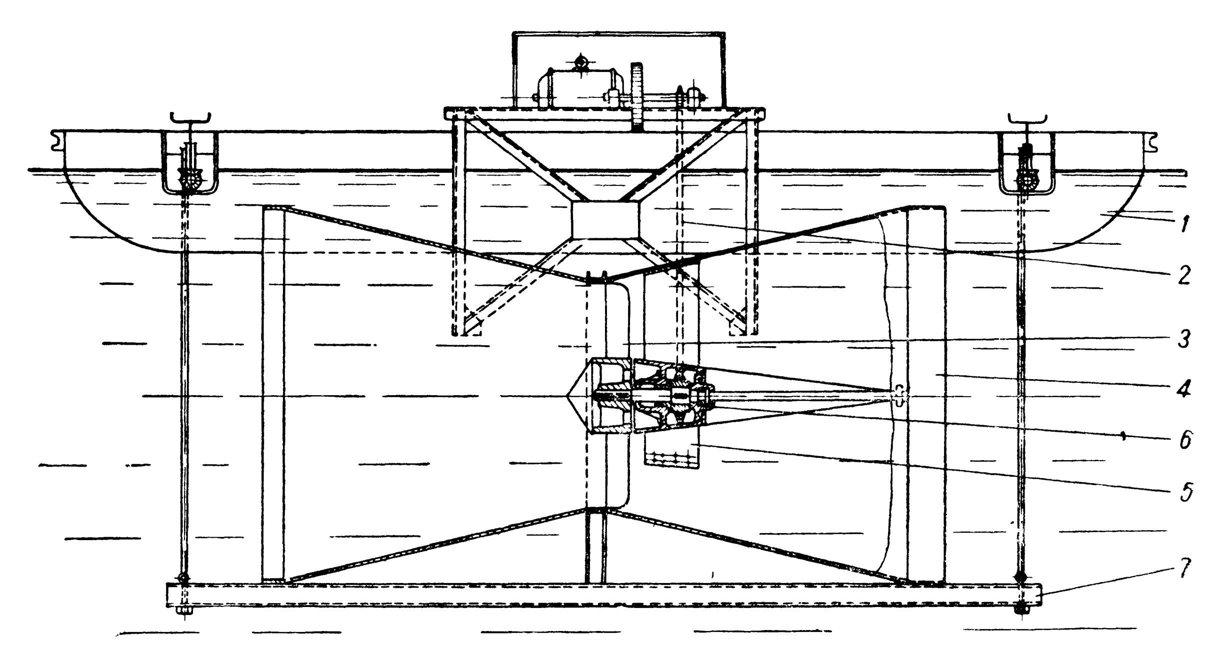
На двух понтонах *1*, скрепленных между собой поперечными связями, подвешиваются с помощью цепей *6* и тяг корпус подъемного механизма и станина *7* для гидротурбины *3*, устанавливаемой внутри кожуха *4*, представляющего двойной усеченный конус, обращенный своими уширенными частями наружу.

В суженной части кожуха при помощи трех лап *5* крепится корпус, в котором укреплены два подшипника для горизонтального вала пропеллерной турбины Втулка рабочего колеса турбины в передней части выполнена в виде конуса с вершиной, направленной навстречу потоку. Сальник устроен так, что не дает возможности воде проникнуть в корпус *6* к подшипникам.

На средней части вала насажено зубчатое колесо для цепи Галля. Цепь *2* проходит в трубках, предохраняющих от попадания воды в корпус *6* двигателя.

Над кожухом турбины на стойках укреплена площадка для генератора. Вращение звездочки, насаженной на горизонтальном валу редуктора, передается зубчатым колесом на шестерню электрогенератора.

Для работы этой станции требуется глубина реки на 1,5 *м* бóльшая, чем величина диаметра рабочего колеса



Фиг. 7. Цельнометаллическая свободнопоточная гидроэлектростанция конструкции С. П. Клыковского с пропеллерной турбиной.

1 — понтоны; *2*—цепь Галля; *3* — пропеллерная турбина; *4* — кожух в виде двойного конического раструба; *5* — лапы для крепления корпуса *6* к кожуху; *7* — станина для крепления кожуха к понтонам.

Таблица 1

Технические показатели свободнопоточной гидроэлектростанции по предложению С. П Клыковского

Скорость воды в реке, *м/сек*	Диаметр рабочего колеса турбины, *м*							
	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
	Мощность *N*, *л. с.*							
0,2	0,03	0,05	0,10	0,34	0,80	1,56	2,70	4,30
0,5	0,035	0,125	0,25	0,85	2,00	3,90	6,75	10,70
0,8	0,052	0,20	0,40	1,36	3,20	6,25	10,80	17,20
1,0	0,065	0,25	0,50	1,70	4,00	7,80	13,50	21,50
1,5	0,097	0,38	0,75	2,54	6,00	11,70	20,20	32,20
2,0	0,13	0,50	1,00	3,40	8,00	15,60	27,00	43,00
2,5	0,16	0,62	1,25	4,25	10,00	19,50	33,80	53,70
3,0	0,19	0,85	1,50	5,10	12,00	23,40	40,50	64,50

турбины. Это обстоятельство и определяет условия, при которых можно или нельзя применять свободнопоточную гидроэлектростанцию с пропеллерной турбиной.

4. СВОБОДНОПОТОЧНЫЕ ГИДРОУСТАНОВКИ С РОТОРНЫМИ ТУРБИНАМИ

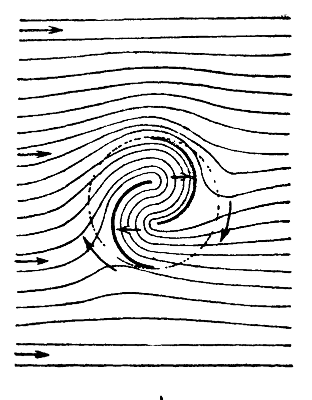
Ниже в § 9 рассмотрены неудобства применения пропеллерной турбины в установках свободнопоточного типа. Поиски новых решений привели к применению в подобных установках гидроротора (роторной гидротурбины, или просто ротора).

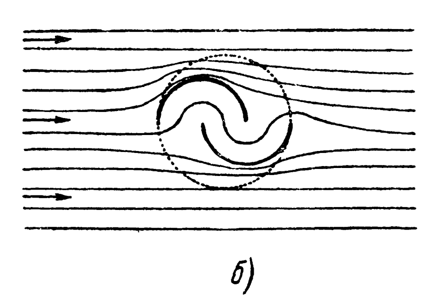
Роторная турбина образуется двумя полуцилиндрическими лопастями, между которыми проходит сквозной канал. Проходящая через этот канал струя воды отдает свою энергию дважды: первый раз у входа в канал, где она ударяется об изогнутую стенку первой части лопасти и давит на нее, и второй раз — у выхода из канала, где она производит давление (отдачу) на изогнутую стенку второй лопасти.

Проходя по внутренней поверхности первой полуцилиндрической лопасти, струя воды меняет свое направление на 180°. Иначе говоря, ес первоначальное направление изменяется на обратное, т. е. вода как бы следует двойной кривизне. Далее, попадая на внутреннюю поверхность второй лопасти, вода опять меняет свое только что приобретенное направление на 180°, т. е. она еще раз следует двойной кривизне. Как в первый раз, так и во

второй, кроме прямого давления, вода оказывает на лопасть дополнительное противодавление, удваивающее силу прямого давления.

Силы удара и отдачи, давления и противодавления, слагаясь в одном и том же направлении, заставляют турбину (роторную) вращаться (на фиг. 8 — по ходу стрелки часов). На место изгонутой первой лопасти быстро подходит своим внутренним изгибом круто изогнутая часть стенки второй лопасти. В нее струя ударяется





Фиг. 8. Схема роторной турбины с полуцилиндрическими лопастями.

а — положение лопастей при наиболее сильном крутящем моменте; *б* — лопасти в „мертвом" положении.

опять, проходя тот же плавно изогнутый в разные стороны зигзагообразный путь, и этим поддерживает вращение роторной турбины в том же направлении.

Лопасти ротора с их обоих концов перекрываются дисками (на фиг. 8 диск показан пунктирной окружностью). В водяном потоке роторную турбину устанавливают так, чтобы она была целиком погружена в воду, но не касалась дна реки. Если ее ось вращения расположить вертикально, то тогда безразлично, с какой стороны будет подходить к ней водяной поток. Если же ось вращения должна располагаться горизонтально, тогда нужно, чтобы она (ось) была установлена строго поперек потока. При этом турбину следует устанавливать так, чтобы струя потока входила в верхнее устье канала между лопастями и выходила через нижнее, как изображено на фиг. 8,*а*.

Роторная гидротурбина является наиболее простой по своей конструкции и весьма подходящей для устройства

речной бесплотинной гидросиловой установки. Отметим, что применение роторной гидротурбины для свободнопоточных установок впервые было осуществлено и исследовано в СССР.

В гидравлической лаборатории Московского энергетического института им. Молотова было произведено в 1936—1940 гг. под научным руководством С. В. Каплинского группой сотрудников в составе К. М. Ивановской, Н. Г. Рождественского, А. Ф. Симонова и др. изучение особенностей работы роторного ветродвигателя, имеющего две полуцилиндрические лопасти и примененного в условиях работы в водяном потоке в качестве гидравлического двигателя, сопряженного с электрогенератором микромощностью 16 *вт* для речной сигнализации (так называемый гидроэлектробакен). Оказалось, что результаты этих работ без особых оговорок могут быть перенесены на роторные гидротурбины более значительных мощностей.

В натуре опытный образец гидроэлектробакена имел ротор с вертикальной осью вращения (для других целей может быть предпочтительнее горизонтальная ось вращения), с проекцией двух лопастей 0,34 $м^2$. Коэффициент использования энергии потока достигал величины 0,325. Опыты велись в течение двух сезонов летней навигации 1938 и 1939 гг. на р. Волге ниже г. Горького, на перекатах Кирпичном и Верхне-Безводном при различных скоростях течения от 0,1 до 1,0 *м/сек*. Помещенная на светоприборе 6-ваттная электролампочка давала свет требуемой яркости уже при скорости течения 0,62 *м/сек*. Гидроэлектробакен обеспечивал проблесковый огонь на светосигнальном аппарате нормальной светосилы, вполне соответствующий проектному заданию.

На основании этих исследований можно прийти к выводу, что для электрификации огней речной сигнализации свободнопоточная установка с роторной гидротурбиной полностью оправдала себя. Мало того, для рек с повышенными скоростями течения применение роторной турбины является мероприятием «вне конкуренции». Свободнопоточные силовые установки с несколькими гидророторами, установленными последовательно друг за другом в виде групп или батарей, состоящих из нескольких роторов на одной паре поплавков, могут работать для электрификации пристаней, несамоходных судов, барж, плотов, речных береговых складов, рыбных промыслов,

рыбопромышленных хозяйств, а также для питания электронасосных установок при поливе прибрежных огородов и даже орошении полей, электрификации молотьбы и других сельскохозяйственных работ в прибрежной полосе, обработки (распиловки) древесины, электрификации приисковых работ, экспедиционных обследований, изыскательских (геологических) работ, в том числе производимых, например, при постройке крупных гидроэлектрических станций, и т. д.

Важнейшим выводом упомянутых исследований является установление того факта, что перенесение роторного ветродвигателя из воздушной среды в водяную выявило преимущества для него гидравлической среды перед воздушной применительно именно к этому виду двигателя. Ввиду того, что плотность воды ($\rho_1 = 102$ *кг · сек²/м⁴*) в 846 раз больше плотности воздуха ($\rho_2 = 0{,}121$ *кг · сек²/м⁴*), во столько же раз площадь вертикальной проекции водяного ротора может быть меньше, чем та же площадь равновеликого по мощности воздушного ротора при одной и той же скорости водяного и воздушного потоков. Для гидросиловых установок малой мощности, каковыми являются свободнопоточные гидростанции, этот факт имеет очень большое значение.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ СВОБОДНОПОТОЧНОЙ ГИДРОУСТАНОВКИ И ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ПОДХОДЯЩЕГО ДЛЯ НЕЕ ВОДЯНОГО ДВИГАТЕЛЯ

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ПОТОКА

Энергией водяного потока называется его способность производить ту или иную работу. Если вода находится в пруде, озере, бассейне, резервуаре или баке и никуда не выливается, то это значит, что она не совершает работы. Но нельзя сказать, что в таком случае она не обладает энергией. Она обладает скрытой энергией положения или, как говорят, потенциальной энергией.

Протекающая же в ручье, речке или большой реке вода способна производить работу потому, что она течет (падает) с более высоких мест в места более низкие. Вода течет (падает) вниз благодаря своей тяжести, т. е.

под влиянием силы земного притяжения. Чем большее количество воды содержит поток, чем ниже и скорее он течет или падает, тем большее количество энергии движения (кинетической энергии) он содержит. Это значит, что энергия водотока зависит не только от количества воды или, как говорят в гидротехнике, от расхода, но и от скорости ее течения и высоты перепада, которую в гидротехнике называют напором.

Перепад (напор) может быть создан природой (например, водопад), но можно создать его и искусственно, например устройством запруды или плотины. В местностях с большим уклоном земной поверхности поступают иначе. Намного выше того места, которое предназначено под постройку гидросиловой установки, отводят воду из реки по руслу канала, вырытого с уклоном, несколько меньшим, чем уклон реки. Благодаря этому в конце канала, доводимого до места расположения здания гидростанции, можно создать большой напор. Величиной напора считается разница между уровнем воды в конце канала и нижним уровнем воды после выхода ее из здания гидростанции.

Несколько иное определение следует придать понятию о напоре для свободопоточных гидроустановок. К этому определению, а также к определению мощности такой установки мы и переходим.

Мощность свободнопоточного водяного двигателя зависит от трех величин: 1) расхода воды, т. е. количества воды, протекающей через рабочее колесо двигателя за каждую секунду времени; 2) динамического напора, определяющего действующую силу движущегося потока. В гидротехнике именно эту силу и называют скоростным напором. Таким образом, скоростной напор существует во всяком течении воды в ручье, речке и реке, иными словами, он создан природой; 3) технического качества рабочего колеса двигателя, характеризуемого величиной к. п. д.

Если открыть отверстие в плотине, за которой скопилась вода, то вода будет свободно ниспадать с некоторой высоты H метров Высота H и называется напором. По мере падения вода приобретает скорость v *м/сек*. Величину скорости v можно определить, пользуясь известным из физики уравнением

$$v = \sqrt{2gH},$$

где g — ускорение силы земного притяжения, равное 9,81 *м/сек*².

Отсюда напор равен

$$H = \frac{v^2}{2g}.$$

Скоростной напор также исчисляется по этой формуле.

Работа, отнесенная к единице времени (секунде), называется мощностью и помечается буквой N. Мощность выражается в килограммометрах в секунду (N *кгм/сек*). В технике определяют мощность двигателя в лошадиных силах (*л. с.*). Лошадиной силой принято называть мощность, равную 75 *кгм/сек*.

Если вес падающей воды за время 1 сек. мы условимся измерять в килограммах, обозначив его буквой B, то выражение мощности можно написать:

$$N = \frac{B \cdot H}{75} \text{ л. с.} \qquad (1)$$

Учитывая, что вес 1 $м^3$ воды равен 1 000 *кг*, мы можем вес падающей воды B выразить через расход Q и написать его несколько иначе:

$$B = 1\,000 \cdot Q.$$

Тогда мощность потока с подобным расходом воды будет:

$$N = \frac{1\,000 \cdot Q \cdot H}{75} = 13{,}33\, Q \cdot H \text{ л. с.} \qquad (2)$$

В электротехнике мощность принято определять в киловаттах (*квт*). 1 *л. с.* равна 736 *вт* = 0,736 *квт*[1]. Таким образом, выраженная в киловаттах мощность потока равна:

$$N = 13{,}33 \cdot 0{,}736\, Q \cdot H = 9{,}81\, Q \cdot H \text{ квт.} \qquad (3)$$

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

Теперь нам нужно знать не столько мощность потока, сколько мощность свободнопоточного двигателя — гидротурбины. Для определения мощности гидротурбины можно пользоваться формулами (2) и (3), но при условии, что Q обозначает секундный расход воды, исполь-

[1] 1 *квт* равен 1 000 *вт*, 1 *вт* — это есть работа электрического тока силой в 1 *а* при напряжении 1 *в*. 1 *квт* равен 1,36 л. с.

зуемый рабочим колесом гидротурбины, и что в формулу будет включен к. п. д. гидротурбины, обозначаемый буквой η и имеющий для разных турбин переменное значение от 0,75 до 0,90.

Под расходом воды Q в данном случае следует понимать количество воды, протекающей со скоростью потока через площадь, занимаемую очертаниями рабочего колеса гидротурбины, или, как говорят, через площадь проекции колеса. Для пропеллерной турбины это будет площадь круга, очерченного диаметром, равным диаметру рабочего колеса турбины. Для роторной турбины это есть площадь прямоугольника, длина которого равна длине ротора, а ширина равна размаху лопастей ротора. Итак, расход определяется по формуле

$$Q = F \cdot v \ \text{м}^3/\text{сек}, \tag{4}$$

где F — площадь проекции рабочего колеса, м^2;
v — скорость потока, $\text{м}/\text{сек}$.

Пример. Пусть скорость течения воды в реке $v = 2$ $\text{м}/\text{сек}$; площадь проекции рабочего колеса турбины, погруженного целиком в воду, $F = 1{,}2$ м^2; его к. п. д. $\eta = 0{,}5$. Требуется рассчитать мощность гидротурбины.

Определяем расход:

$$Q = 1{,}2 \cdot 2 = 2{,}4 \ \text{м}^3/\text{сек}.$$

Скоростной напор

$$H = \frac{2^2}{2 \cdot 9{,}81} = \frac{4}{19{,}62} = 0{,}2 \ \text{м}.$$

Тогда мощность свободнопоточной гидротурбины будет:

$$N = 9{,}81 \cdot 2{,}4 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}5 = 2{,}354 \ \text{квт}.$$

Отсюда мы видим, какое большое значение имеет скорость v потока. Поэтому к определению скорости v в натуре надо подходить с особенной тщательностью. В формуле для определения расхода Q скорость v имеет линейную размерность, а в определении скоростного напора H она возводится в квадрат. Поскольку мощность турбины зависит от произведения Q на H, значит она (мощность) зависит от v^3, т. е. она пропорциональна ку-

бу скорости воды. Вот почему с уменьшением скорости течения резко снижается мощность свободнопоточной установки. С другой стороны, чем скорость потока выше, тем бо́льшую мощность может показать водяной двигатель, использующий живую силу потока.

7. КРАТКАЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАШИХ РЕК

В большинстве равнинных местностей РСФСР, УССР, БССР, Казахской ССР скорость средних струй течения крупных рек бывает от 0,8 (для глубоких мест) до 1,6 *м/сек* — на перекатах и быстринах, где как раз глубина меньше. Лишь на равнинах предгорий Кавказа, Уральского и Алтайского хребтов, а также гор Средней Азии скорость течения рек и речек повышается и достигает от 1,6 до 3,2 *м/сек.*

Уровень воды в больших и малых реках СССР меняется в течение года в соответствии с колебаниями притока воды, стекающей с поверхности бассейна, питающего реку. Эти колебания притока воды зависят от климатических условий, господствующих в районе бассейна данной реки. Главным источником питания рек водой являются атмосферные осадки (дождь, снег, град), выпадающие, как известно, в разных количествах и в разные времена года, и даже по-разному в различные годы. Наименьшее количество воды в реках бывает обычно зимой, когда атмосферные осадки (снег) не стекают в реку, а остаются на земной поверхности в виде снегового покрова, в реку же поступают только грунтовые (родниковые) воды из-под земли. Наиболее сильное повышение уровня речной воды (половодье) наблюдается обычно весной во время таяния снегов и усиленного стока талых вод, а также с появлением весенних дождей.

Сильные, хотя и кратковременные подъемы уровня воды в реке (паводки) имеют место летом при выпадении ливней, и осенью — в период продолжительных дождей. Так происходит изменение уровня рек на равнинных зонах Европейской части СССР и западных районов Сибири. По мере удаления от Уральского хребта на восток все менее значительными для рек Сибири становятся весенние половодья и более значительными делаются летние паводки, являющиеся результатом обильного таяния летом снегов и выпадения дождей в горах.

Еще дальше на восток от р. Оби в гористых местностях Алтайской возвышенности снега, при таянии летом, дают намного больше воды, чем, например, весенний сток с долин, на которых за зиму сравнительно мало накапливается снега. Еще дальше на восток за Байкалом на равнинах Восточной Сибири снега выпадает вообще очень мало. Исключение составляют склоны и вершины гор.

Много снега выпадает на Дальневосточном побережьи. Зато летние дожди как за Байкалом, так и на Дальнем Востоке повсюду бывают обильные, и они-то определяют паводки и даже летние половодья рек.

В то время как глубина рек в Европейской части СССР летом меньше, чем осенью и весной, на Дальнем Востоке летом уровень воды в реках больше, чем весной и осенью.

8. ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ РЕКИ

Скорость течения воды в реке — это есть путь, проходимый потоком воды за 1 сек. В натуре этот путь можно наблюдать по движению легких плавающих на воде предметов: пустой бутылки, небольшого чурбака, щепки, спичечной коробки и других предметов, называемых для данной цели поплавками. Однако, надо учесть, что поплавок движется вниз по течению реки с той скоростью, которая имеет место на поверхности потока. Чем глубже взять слой воды, тем его движение будет медленнее. Истинная средняя скорость для всех слоев потока находится примерно на $^{2}/_{3}$ его глубины (считая от дна реки) и составляет для небольших рек 80% от скорости движения воды, наблюдаемой на поверхности речного потока.

Для натурных измерений скорости течения на поверхности небольшой реки при помощи поплавка выбирают по возможности прямой (т. е. не извилистый) участок реки длиной 50 *м*. Если на реке есть плотина, то участок должен лежать намного ниже плотины. На одном из берегов отмечают поближе к береговой линии две точки, расположенные на расстоянии 20 *м* одна от другой. В каждой точке забивают в землю кол. Отступя 5—6 шагов от кола в сторону от береговой линии, становятся два наблюдателя так, чтобы каждый из них находился против кола лицом к реке. Задача одного наблюдателя состоит в том, чтобы следить за прохождением поплавка

через черту, мысленно проведенную от него к первому колу и далее — поперек реки. Второй наблюдатель должен следить за моментом прохождения поплавка через черту, мысленно проведенную над вторым колом поперек реки. Первый наблюдатель, имеющий в руках часы с секундной стрелкой, ведет подсчет и запись результатов наблюдений. Он забрасывает поплавок подальше от себя вверх по течению реки, отмечает момент прохождения поплавка через черту первой (своей) точки и отсчитывает (по часам) число секунд вплоть до подачи сигнала вторым наблюдателем в момент прохождения поплавка через черту второй точки.

Если расстояние между кольями равно 20 *м*, а время прохождения этого расстояния поплавком равно 15 сек., то скорость движения поплавка будет 20 : 15=1,33 *м/сек*.

Однако, если мы будем пользоваться результатами наблюдения, произведенного только над одним поплавком, движущимся вниз по реке на каком-либо одном расстоянии от берега, то получим скорость его движения, которая еще не будет характерной для всего потока. Чтобы получить среднюю величину поверхностной скорости воды, надо пускать поплавки несколько раз так, чтобы в одном случае поплавок прошел ближе к одному берегу, другой раз — ближе к середине, затем ближе к другому берегу или же в промежутке между первыми двумя прохождениями и т. д. Чем река шире, тем требуется большее число наблюдений, и надо заготовить больше поплавков.

Определив время прохождения поплавка по каждому наблюдению, находят среднее арифметическое значение из всех наблюдений. Предположим для примера, что проделано шесть наблюдений. Первый поплавок прошел расстояние 20 *м* в 15 сек., второй — то же расстояние покрыл за 14 сек., третий — 13,5 сек., четвертый — 10,5 сек., пятый — 16 сек. и шестой — 18 сек. Складывая эти величины и деля сумму на 6, получаем среднее арифметическое значение:

$$\frac{15 + 14 + 13{,}5 + 10{,}5 + 16 + 18}{6} = 14{,}5 \text{ сек.}$$

Так как измерялось время прохождения всех поплавков на расстоянии 20 *м*, то средняя скорость течения на поверхности воды будет равна: 20 : 14,5 = 1,38 *м/сек*.

Ввиду того, что истинная средняя скорость всех слоев потока составляет 80% от поверхностной скорости, то она будет равна: 1,38 · 0,80 = 1,1 *м/сек*. Это и есть расчетная скорость потока для рассмотренного выше определенного примера.

9. НЕУДОБСТВО ПРИМЕНЕНИЯ ПРОПЕЛЛЕРНЫХ ТУРБИН В СВОБОДНОПОТОЧНЫХ УСТАНОВКАХ

Мощность водяного двигателя, использующего силу свободного течения, зависит также и от площади поперечного сечения потока, занимаемой рабочим колесом двигателя.

Глубоководные равнинные реки (Днепр, Волга, Иртыш и др.) имеют скорость течения не свыше 1 *м/сек*. Поток воды с поперечным сечением в 1 $м^2$ при скорости 1 *м/сек* имеет мощность 0,50 *квт*. Учитывая потери энергии гидравлические (в колесе), механические (в передаче) и электрические (в генераторе), мы увидим, что от этой силы течения может быть использовано при получении электротока лишь около половины, т. е. 0,25 *квт*. Таким образом, чтобы от такого потока получить полезную мощность, допустим, в 12,5 *квт*, надо увеличить используемое поперечное сечение потока до 50 $м^2$. Это значит, что пропеллерная турбина должна иметь диаметр более 7 *м*. Между тем такой глубины речной поток встречается довольно редко.

Вот почему, вообще говоря, получить значительную мощность от свободнопоточной установки с пропеллерной турбиной затруднительно. Если учесть, что применение свободнопоточных установок выгоднее всего на перепадах, быстринах и тому подобных местах с большой скоростью течения, то оказывается, что как раз в этих местах глубина потока всегда намного меньше, чем на других участках течения той же реки. Таким образом, большим недостатком свободнопоточных установок с пропеллерной турбиной является необходимость располагать значительной глубиной погружения.

На малых реках при меженнем уровне редко когда можно встретить глубину более 1,5 *м*. При такой глубине водотока его движущая сила может быть использована пропеллерной турбиной лишь в незначительной доле, соответственно площади круга, очерчиваемого лопастями рабочего колеса этой турбины. В таком случае снимаемая мощность от подобного агрегата, как правило, невелика.

10. ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОРОТОРА В СВОБОДНОПОТОЧНЫХ УСТАНОВКАХ

Исследования работы в водяном потоке ротора с двумя полуцилиндрическими лопастями выявили не только положительные, но и отрицательные свойства такого ротора в качестве гидравлического двигателя. Этих последних качеств мы коснемся несколько далее. Но так как уже доказано, что для свободнопоточных установок роторная турбина является наиболее подходящим двигателем, то исследования эти должны быть продолжены для того, чтобы можно было максимально развить положительные качества и ослабить отрицательные особенности гидроротора.

Так, например, двухлопастный гидроротор с полуцилиндрическими лопастями имеет «мертвую точку» своего положения, когда плоскость, мысленно проведенная через все четыре кромки обеих полуцилиндрических лопастей, приходит в горизонтальное положение, т. е. совпадает с направлением течения воды. В этом «мертвом» положении движущая сила потока оказывает на лопасти ротора наименьшее действие (см. фиг. 8,*б*), и вращающийся ротор при большой нагрузке может даже остановиться. Для устранения таких возможностей приходится ротор по его длине делить на три яруса двумя промежуточными дисками с тем, чтобы упомянутая плоскость во всех трех ярусах разнилась по своему положению в каждом ярусе на 120° от другого соседнего с ним яруса.

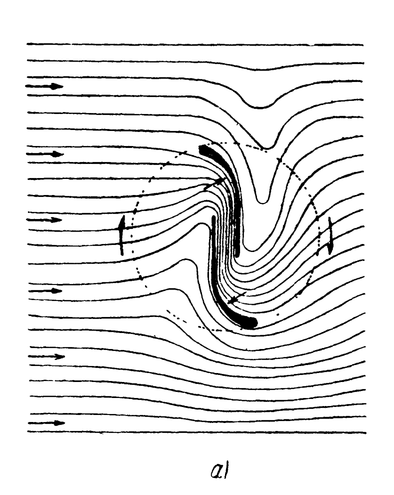
Расскажем о двух других попытках устранить «мертвое» положение лопастей гидроротора. Автором этих строк была опубликована[1] иная форма лопастей, при которой совпадение направления течения с плоскостью, соединяющей четыре кромки лопастей, не приводит к полному ослаблению действия движущей силы потока, а значит, ротор не может остановить своего вращения. Здесь профиль лопасти имеет несколько вытянутую форму (фиг. 9) и помимо закругления с каплевидным утолщением входной кромки лопасти имеет прямолинейный участок.

Каплевидное утолщение входной кромки имеет своим назначением уменьшить сопротивление передней грани лопасти по отношению к набегающей на нее струе и этим

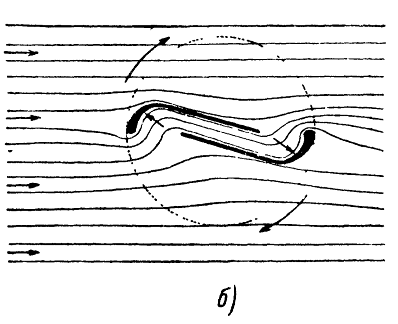
---

[1] Б. Б. Кажинский, Гидроэлектрические и ветроэлектрические станции малой мощности, Изд. Бюро экспертизы и регистрации изобретений Госплана СССР, Госпланиздат, 1946 г., стр. 58.

улучшить плавность вхождения струи в канал. Прямолинейный участок канала приводит к укорочению пути струи от места ее входа до места выхода из канала (прямая линия суть кратчайший путь между двумя точками). Вследствие этого в момент, когда гидроротор становится в «мертвое» положение, струя, идущая через прямолинейный участок канала с более повышенной силой (чем у полуцилиндрического ротора), устремляется на вогнутую поверхность закругленного конца второй лопасти и



а)



б)

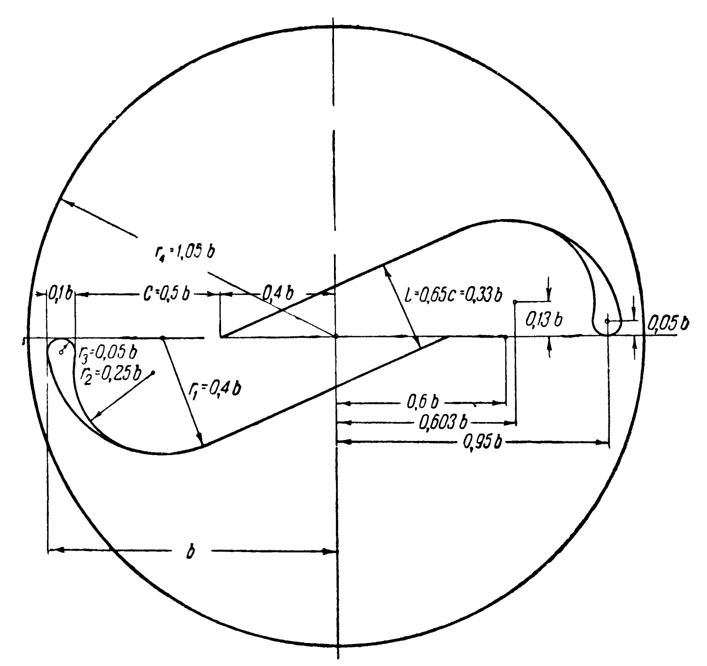
Фиг. 9. Схема роторной турбины с лопастями вытянутой формы (предложение Б. Б. Кажинского).
а — положение лопастей при наиболее сильном; б — при наиболее слабом крутящем моменте.

своим повышенным реактивным давлением на нее будет содействовать движению ее в сторону вращения ротора. В качестве основного размера для этой формы профиля лопастей принята половина ширины размаха лопастей, обозначенная буквой b (фиг. 10). Ширина входного устья канала C между лопастями вдвое меньше размера b. В свою очередь ширина прямого участка канала L составляет $^2/_3$ от C. Остальные соотношения размеров видны из чертежа.

Другое устройство лопастей, предложенное К. А. Угринским, представлено на фиг. 11. Здесь канал образуется двумя лопастями, форма поперечного профиля которых напоминает собой ковш с ручкой. Рассмотрим, в чем заключаются отличительные особенности работы этого нового ротора в свободном течении.

Проходящая через канал вода дважды отдает свою энергию, как это было и у прежде описанных роторов.

Однако в то время, когда у этих роторов при вращении на место круто изогнутой стенки первой лопасти быстро становится своим внутренним изгибом такая же круто изогнутая часть второй лопасти, в новом роторе происходит нечто иное. Рассмотрим этот процесс подробнее.

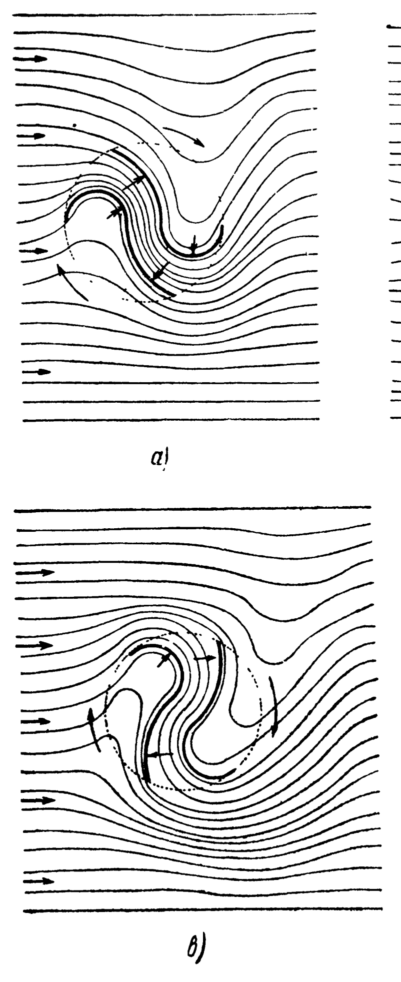


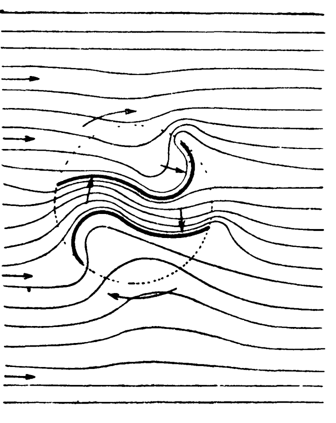
Фиг. 10. Схема построения „лопастей" роторной турбины системы Кажинского.

Допустим, что входящая в канал струя сначала ударяется о слабо изогнутую стенку первой части лопасти. На ее место быстро становится круто изогнутая стенка (чашеобразно изогнутая часть профиля) второй лопасти. Она быстро сменяется слабо изогнутой частью той же второй лопасти, вслед за которой набегает круто изогнутая часть первой лопасти, и т. д.

При первом же взгляде на профили лопастей нового ротора видно, что какое положение ни заняли бы лопасти этого ротора относительно горизонтального направления течения, никакого «мертвого» положения нет. Всегда какая-то часть лопасти направлена навстречу к потоку и

способствует продолжению вращения ротора, а никак не его остановке. Благодаря этому многоярусное устройство для такого ротора необязательно.





Фиг. 11. Схема роторной турбины с двумя лопастями, имеющими поперечный профиль в виде ковша с ручкой (предложение К. А. Угринского).

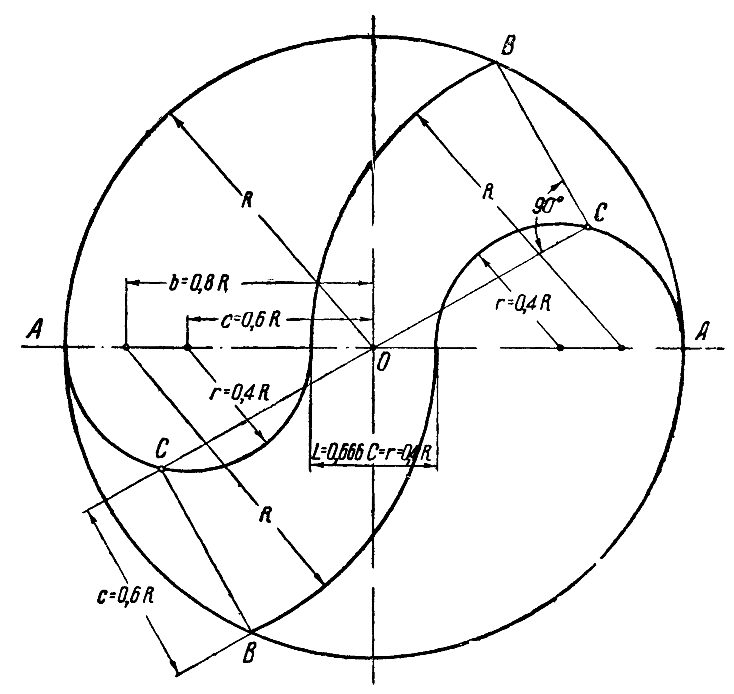
а — положение лопастей при наиболее сильном, *б* и *в* — при наименее сильном крутящем моменте.

В качестве основного размера для этой схемы ротора автором этих строк принят радиус диска *R* (фиг. 12). Но как и в предыдущих случаях, сохранено важнейшее условие, чтобы средняя часть канала между лопастями равнялась $^2/_3$ ширины устья канала [1].

---

[1] Приведенные выше две формы профиля лопастей ротора первоначально были задуманы как формы лопастей для роторных ветротурбин, которые в качестве гидротурбин испытаны не были. По-

Выше уже было приведено сравнение гидроротора с пропеллерной турбиной, из которого следует, что для свободнопоточной гидростанции роторная турбина предпочтительнее. Такой же вывод дает сравнение гидроротора с обычным водяным колесом байдачного типа. Не-



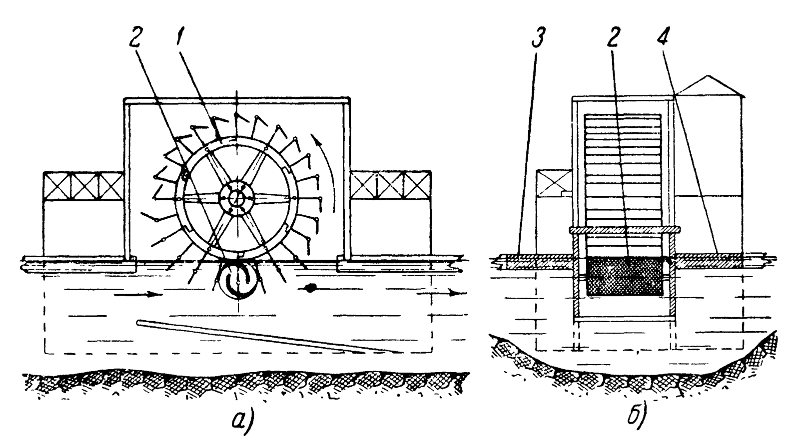
Фиг. 12. Схема построения лопастей роторной турбины системы Угринского.

смотря на свои огромные размеры, водяное колесо показывает ограниченную мощность. Так, колесо диаметром 7 *м* при длине лопасти 5 *м* и ее ширине 0,75 *м*, помещаемое на двух громоздких понтонах, при скорости течения 2 *м/сек* показывает мощность 3,68 *квт*. Расход древесины на всю установку, включая колесо, два понтона

этому в описанных далее конструкциях, предназначенных для осуществления, нами рекомендуется пока только роторная гидротурбина с полуцилиндрическими лопастями, называемая просто гидроротором.

и мельничную будку, — около 40 $м^3$. Ту же мощность может показать целиком погруженная в воду роторная турбина длиной 5 *м*, но диаметром всего 0,75 *м*. Расход древесины на гидроротор и два плота около 10 $м^3$, т. е. в 4 раза меньше.

Для наглядности этого сравнения на фиг. 13 схематически показана поплавковая установка с модернизованным водяным колесом байдачного типа. С левой сто-



Фиг. 13. Схема сравнения величин равномощных свободнопоточных установок байдачного типа с модернизованным водяным колесом и поплавкового типа с роторной турбиной.

а — разрез поперек вала; *б* — разрез вдоль вала. *1* — водяное колесо; *2* — роторная гидротурбина одинаковой мощности; *3* — поплавок малый; *4* — поплавок большой. Густой штриховкой показаны очертания роторной турбины с ее поплавками и кронштейнами.

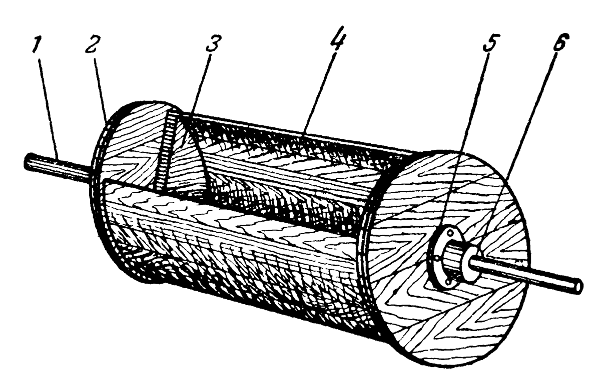
роны рисунка приведен разрез колеса поперек вала. На нижнюю часть колеса нанесена схема двухлопастной роторной гидротурбины одинаковой с ним мощности. В правой части рисунка та же турбина выделена на общем фоне водяного колеса (густой перекрестной штриховкой) вместе со своими плотами-поплавками и кронштейнами (косая штриховка), с помощью которых она прикреплена к плотам.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

КАК ПОСТРОИТЬ СВОБОДНОПОТОЧНУЮ ГИДРОУСТАНОВКУ С ГИДРОРОТОРОМ

11. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ГИДРОРОТОРА С ПОЛУЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ ЛОПАСТЯМИ

Водяная роторная турбина с полуцилиндрическими лопастями устроена следующим образом. Представим себе горизонтально расположенный полый цилиндр. Разрежем его плоскостью вдоль оси на две равные половины. Полученные два полуцилиндра раздвинем немного по



Фиг. 14. Роторная деревянная гидротурбина с полуцилиндрическими лопастями.

1 — вал; *2* — диск; *3* — накладка *Г*; *4* — лопасть; *5* — втулка с фланцем; *6* — шпонка.

плоскости разреза в разные стороны на равные расстояния от средней оси. Это и будут две полуцилиндрические лопасти роторной турбины (фиг. 14).

С торцевых концов обе лопасти перекрыты двумя дисками, центры которых совпадают с осью вращения турбины. Для нашей цели лопасти и диски лучше всего делать дощатые, так как это увеличивает пловучесть всей установки. Из центра двух концевых дисков турбины выступают шипы главного вала, вращающиеся в двух подшипниках, укрепленных на деревянных кронштейнах, опущенных с поплавков, если река глубокая, или на деревянных «салазках», или на свайках, забитых в дно реки, если река неглубокая.

Ротор размещают между двумя опорами так, чтобы его ось вращения приходилась строго горизонтально и по возможности точно поперек речного потока. Вместе с тем надо следить, чтобы верхняя половина ротора была обращена своей рабочей щелью навстречу потоку.

Чтобы ротор не имел «мертвой точки» вращения, его надо по длине разделить двумя промежуточными дисками на три яруса. В каждом ярусе свою пару лопастей следует разместить так, чтобы плоскость, мысленно проведенная по кромкам лопастей одного яруса, приходилась под углом 120° к такой же плоскости соседнего яруса.

12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ РОТОРА И ЕГО КОНСТРУКЦИЯ

Поставим себе задачу получить от ротора мощность в 300 *вт* (0,3 *квт*). Найдя основные размеры ротора, дающего эту мощность при скорости течения 1 *м/сек*, мы покажем, какую мощность тот же ротор может дать при других скоростях течения.

Мощность гидроротора можно определить по формуле (3):

$$N = 9{,}81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta \text{ квт},$$

где

$$Q = F \cdot v \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Здесь под буквой F подразумевается площадь проекции лопастей ротора в $м^2$, а под буквой v — скорость течения в *м/сек*. Принимая скорость $v = 1$ *м/сек*, мы получаем $Q = F \cdot 1 = F$. В этих условиях скоростной напор $H = \frac{1}{19{,}62} = 0{,}05$ *м*. Задаваясь величиной к. п. д. $\eta = 0{,}5$, получаем, что мощность: $N = 9{,}81 \cdot F \cdot 0{,}05 \cdot 0{,}5 = 0{,}3$ *квт*. Или иначе можно написать: $0{,}3 = 0{,}245 \cdot F$.

Отсюда ясно, что

$$F = \frac{0{,}3}{0{,}245} = 1{,}22 \text{ м}^2.$$

Если принять размах лопастей равным 0,6 *м*, тогда длина ротора будет $1{,}22 : 0{,}6 = 2{,}0$ *м*.

Число оборотов ротора определяется по формуле:

$$n = \frac{30 \cdot v}{\pi \cdot R} \text{ об/мин}.$$

Здесь v — скорость течения, *м/сек*;
π — отношение длины окружности к ее диаметру = 3,14;
R — радиус диска или половина размаха лопастей ротора, *м*.

Число оборотов n меняется в прямой зависимости от скорости v течения.

Таблица 2

Мощность и число оборотов гидроротора при проекции лопастей 1,22 $м^2$ и при разных скоростях течения воды в реке

Скорость, *м/сек*	Мощность, *квт*	Число, об/мин	Скорость, *м/сек*	Мощность, *квт*	Число, об/мин
0,8	0,154	26	2,0	2,354	64
1,0	0,294	32	2,2	3,194	70
1,2	0,518	38	2,4	4,147	77
1,4	0,822	45	2,6	5,273	83
1,6	1,230	51	2,8	6,585	89
1,8	1,749	57	3,0	8,100	96
			3,2	9,830	102

Материалом для ротора мощностью до 1 *квт*[1] может служить сосновый или еловый тес шириной 180 *мм*, толщиной 10 *мм* — для лопастей и 40 *мм* — для дисков. Дисков понадобится сделать 4 шт., из них два крайних и два промежуточных.

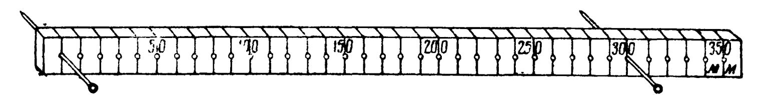
а) Диск ротора

Диаметр дисков примем равным размаху лопастей ротора, т. е. 600 *мм*. Каждый диск будем делать из 8 отрезков досок длиной по 600 *мм*, положенных в два слоя по 4 шт. друг на друга, крест-на-крест. Для этой цели надо заготовить 32 отрезка досок толщиной по 40 *мм* и шириной по 180 *мм*. Доски надо обстругать начисто. На выравненной площадке укладывают по 4 отрезка вплот-

[1] Гидророторные установки мощностью до 1 *квт* могут сооружаться так, как это показано ниже в тексте и на фиг. 16—25. Гидророторные установки мощностью более 1 *квт* должны сооружаться с соблюдением повышенных запасов прочности как самого гидроротора, так и его опорного устройства. Это значит, что толщина вала, дисков и теса для лопастей такого ротора должна быть больше указанной для маломощного ротора. Также более толстыми должны быть бревна и доски, применяемые для опорного устройства более мощного гидроротора.

ную друг к другу. Сверху на них укладывают поперек, также вплотную, второй слой из 4 отрезков и сколачивают оба слоя гвоздями толщиной 4 *мм*, длиной 105 *мм*. Гвозди надо пробивать через полоску из кровельного железа шириной 25 *мм*. Выступающие из-за подлицо острые концы гвоздей следует аккуратно загнуть на длину 25 *мм* так, чтобы острый конец гвоздя, отогнутый вторично на длину 5 *мм*, вошел при загибе обратно в дерево. Этим диски будут предохранены от расслаивания.

Полученные двойные квадратные щиты надо аккуратно опилить по окружности диаметром 600 *мм*. Для этого сначала вычерчивают на щите окружность радиусом



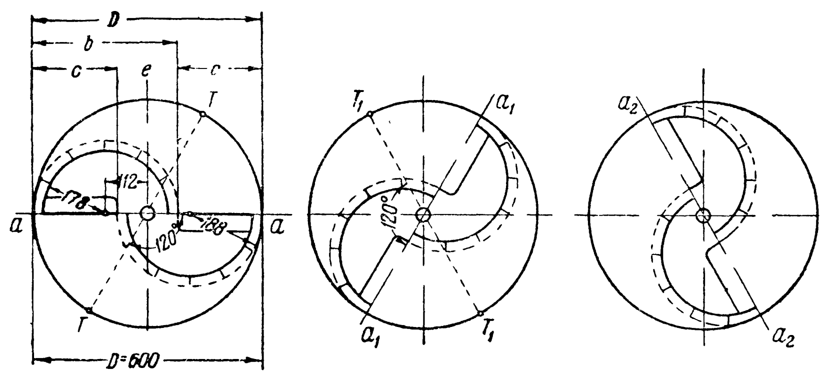
Фиг. 15. Самодельный деревянный циркуль.

300 *мм* с помощью самодельного циркуля, состоящего из планки длиной 370 *мм* и двух гвоздей (фиг. 15). При этом надо следить, чтобы и на другой стороне щита образовалась правильная окружность того же диаметра. С этой целью через центр окружности на первой стороне щита надо пробить гвоздем или просверлить тонким сверлом отверстие насквозь и этим обозначить центр окружности, которую и проводят на второй стороне щита.

Затем, на одной плоскости диска вычерчивают тем же циркулем две полуокружности для двух накладок *Г*, к которым прибиваются планки, составляющие поверхность лопастей ротора (см. фиг. 14).

Прежде чем указать радиус полуокружности для лопастей ротора, отметим весьма важное условие, которому должен удовлетворять правильно построенный ротор — расстояние *e* (фиг. 16) между внутренними краями обоих полуцилиндров должно равняться $^2/_3$ размера *c*, определяющего ширину входной щели ротора. Через эту щель входит струя воды в ротор, оказывает давление на внутреннюю стенку первой лопасти, после чего проходит через внутренний канал между лопастями шириной *e* и, выходя на внутреннюю поверхность второй лопасти, оказывает на нее вторичное давление, а затем выходит из ротора, отсасываемая наружным потоком.

При всех других соотношениях между размерами e и c работа ротора и его мощность изменяются в худшую сторону. Поскольку основным размером всякого ротора является размах или диаметр ротора, обозначаемый буквой D, все остальные размеры приведем к этой величине. Тогда ширина канала e между лопастями ротора будет 25% от D, ширина входной щели c равна 37,5% от D и ширина лопасти ротора b равна 62,5% от D; так как



Фиг. 16. Схема разметки полуцилиндрических лопастей гидроротора.

в данном случае диаметр ротора D равен 600 *мм*, то отсюда следует, что $e = 150$ *мм*; $c = 225$ *мм*; $b = 375$ *мм*.

Имея в виду, что ширина лопасти b — это диаметр полуцилиндра, его радиус будет в 2 раза меньше, т. е. (за округлением) 188 *мм*. Учитывая, что стенки лопастей будут сделаны из шелевки толщиной 10 *мм*, получаем радиус внутренней поверхности полуцилиндра 178 *мм*. Центр этого полуцилиндра расположен на линии $a—a$ на расстоянии 112 *мм* от центра диска. Центр другого полуцилиндра расположен на том же расстоянии по другую сторону от центра диска.

Вычерчиваем циркулем две полуокружности для лопастей радиусом 178 *мм*. Толщина накладки 40 *мм*. Прямолинейная грань каждой накладки $Г$ должна быть скошена (острогана наискосок) под 45° на половину своей длины [1], другая половина оставляется нескошенной. Это нужно для того, чтобы уменьшить удар об нее струи во-

---

[1] Скос граней накладки необязателен.

ды, вступающей внутрь полуцилиндрической лопасти ротора. На одном и том же диске нескошенная половина грани одной накладки должна прилегать к нескошенной половине грани другой накладки. Таким образом, обе накладки своими скошенными гранями укладываются на диске вразбежку, а нескошенными — вместе.

В центре диска должно быть просверлено отверстие, которым диск насаживается на металлический вал. Диаметр отверстия должен соответствовать диаметру вала. В качестве вала может быть взята труба толщиной от 35 до 50 *мм*, длиной 2,5 *м*.

Приведенное выше описание способа изготовления диска, достаточное для двух крайних дисков ротора, недостаточно для двух промежуточных дисков. Дело в том, что к промежуточным дискам примыкают роторы с двух сторон. Значит, накладки *Г* для лопастей роторов должны быть прибиты по обе стороны этих дисков. Выше уже говорилось, что ротор делится промежуточными дисками на три яруса так, чтобы плоскость, мысленно проведенная по четырем кромкам лопастей одного яруса, приходилась под углом 120° к такой же плоскости смежного яруса.

Прибив накладки на одной стороне первого промежуточного диска, проводят на той же стороне через центр диска линию *Т—Т* под углом 120° к средней линии *а—а*, соединяющей все четыре кромки лопастей (см. пунктирную линию *Т—Т* на левом крайнем рисунке фиг. 16). После этого обе концевые точки *Т* этой линии с одной стороны диска карандашом переводят по торцу диска на другую сторону диска, соединяют их линией, проходящей через центр диска, и делают построение очертаний второй пары полуцилиндрических лопастей на этой стороне диска. Набивкой двух пар накладок *Г* на обеих сторонах диска заканчивается изготовление первого промежуточного диска. На передней плоскости второго промежуточного диска (см. средний рисунок фиг. 16). также проводят пунктирную линию T_1—T_1 под углом 120° к линии a_1—a_1. Переводят точки T_1—T_1 на заднюю плоскость этого диска и делают на ней построение очертаний последней пары лопастей. Такое же построение очертаний этой пары лопастей делают и на одной (внутренней) стороне второго крайнего диска (см. правый рисунок на фиг. 16). В результате все три линии *а—а*, a_1—a_1 и a_2—a_2 должны приходиться под углом

120° друг к другу. Таким путем благодаря разделению ротора на три яруса будет устранено влияние «мертвого положения» лопастей ротора, когда он обтекается свободным течением реки.

Сборку дисков на валу, а также прибивку к ним шелевок для образования лопастей, удобнее делать, подставив под оба конца вала невысокие козлы или иные опоры временного характера.

б) Вал ротора

Для крепления обоих крайних дисков на валу должны быть посажены (снаружи ротора) две металлические втулки с фланцами, имеющими по четыре отверстия для крепежных болтов $1/4''$. От провертывания по валу эти втулки удерживаются шпонками (фиг. 17). Если вал трубчатый, то для каждой шпонки на нем должна быть пропилена лыска. Это значит, что в том месте, где должна быть шпонка, цилиндрическую поверхность вала опиливают на площадку. При наличии же сплошного вала под шпонку может быть вырезана более глубокая дорожка.

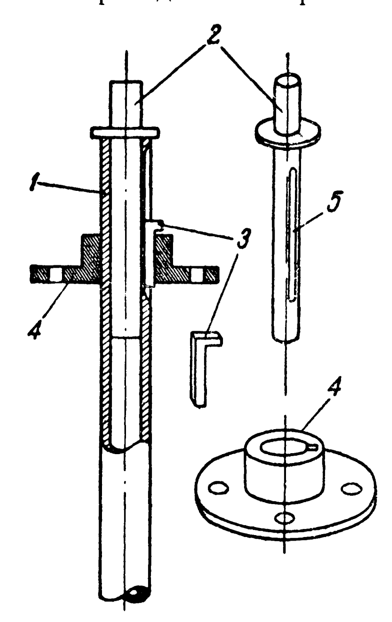
Вал *1* и втулки *4* можно использовать из числа старых деталей, подбираемых на складах железного лома. Если вал приходится изготовлять наново, то надо, чтобы шейки — шипы *2* на обоих концах его имели диаметр, соответствующий имеющимся под рукой или вновь изготовляемым деревянным подшипникам, с таким расчетом, чтобы подшипники могли быть расставлены один от другого на расстоянии не более 2,2 *м*.

Для всякого вала, вращающегося в воде, деревянные подшипники являются более подходящими, чем металлические. Дело в том, что в этих условиях металлическому подшипнику, не изолированному от воды, приходится работать с водяной (а не масляной) смазкой, понижающей его технические качества, увеличивающей его трение (по сравнению с масляной смазкой) и износ его вкладышей, а также шейки вала.

Для работы подшипника в воде более подходящим материалом его вкладышей является древесина твердых пород: дуб, ясень, клен и др. Древесина такого подшипника способна работать на воде, как на смазке, легко прирабатывается, не задирает вал и обладает пониженным трением. Наконец, деревянный подшипник для са-

модельного гидроротора легче самому сделать, чем металлический.

Деревянный подшипник лучше всего работает на торце древесных волокон, когда силы трения вращающегося вала приходятся поперек волокон древесины. Поэтому надо, чтобы вращающаяся в подшипнике шейка (шип) вала по возможности со всех сторон была окружена торцевой стороной деревянных вкладышей. Для гидророторов небольших мощностей (до 1 *квт*) пригодно следующее устройство самодельного деревянного подшипника (фиг. 18). На горизонтальный опорный брус *1* сечением 150×150 *мм* накладываются стоймя пять дощечек *2—6*. Из них две крайние дощечки *2*, *6* и одна средняя *4* поставлены так, что волокна древесины у них располагаются вертикально, а у дощечек *3*, *5* — горизонтально. Дощечки эти играют роль деревянных вкладышей подшипника. Таким путем обеспечено важное условие, чтобы шейка вала окружена была снизу, сверху и с обоих боков торцевой стороной деревянных вкладышей.



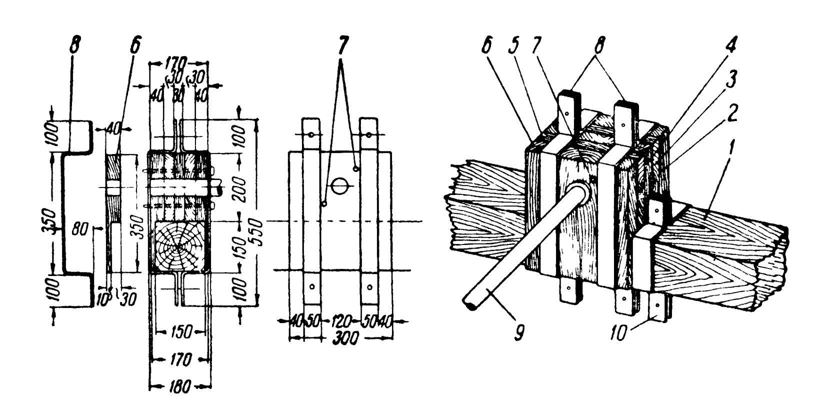
Фиг. 17. Вал гидроротора.
1 — трубчатый вал; *2* — шип для подшипника; *3* — шпонка; *4* — фланец; *5* — лыска для шпонки.

Все дощечки имеют одинаковую длину 300 *мм*. Крайние дощечки *2*, *6* сделаны высотой 350 *мм* и имеют вырез внизу на глубину 30 *мм*, которым они опираются на брус *1*. Средние дощечки *3*, *4*, *5* имеют высоту 200 *мм*. Все дощечки плотно стянуты сквозными болтами *7* (8 *мм*) и охвачены двумя парами хомутов *8* из полосового железа 50×5 *мм*, имеющими на своих концах отверстия для крепежных болтов толщиной 8 *мм*.

После того как все дощечки установлены на своем месте и обе пары хомутов крепко стянуты болтами, про-

сверливают сквозь все дощечки круглое отверстие для вала *9*. Диаметр отверстия должен соответствовать диаметру вала *9* (т. е. от 35 до 50 *мм*).

Вместе с тем просверливают еще два отверстия диаметром 8 *мм* для двух болтов *7*. Болты эти не только стягивают все дощечки между собой, но они же не дают возможности дощечкам *3* и *5* (с горизонтально расположенными волокнами древесины) иметь боковое смещение.



Фиг. 18. Деревянный подшипник для свободнопоточного гидроротора.

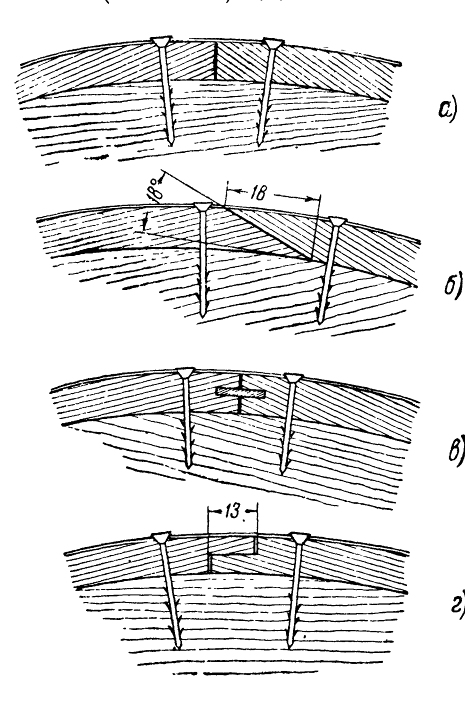
1 — опорный брус для подшипника; *2* и *6* — крайние дощечки-вкладыши; *3*, *4*, *5* — средние вкладыши; *7* — стяжные болты; *8* и *10* — хомуты; *9* — вал гидроротора.

Это обстоятельство имеет важное значение, так как при усилиях смещения вала в горизонтальном направлении (например, от давления воды на гидроротор), шейка вала приходится поперек древесных волокон этих дощечек и они (дощечки эти) именно тогда играют роль вкладышей подшипника. Под головки и гайки болтов *7* надо подкладывать широкие шайбы.

Для того чтобы под давлением воды на гидроротор деревянный подшипник не мог иметь смещение вдоль по своему опорному брусу *1*, следует установить на брусе еще одну пару хомутов *10* в непосредственной близости к подшипнику так, чтобы для него был создан достаточный упор. Такой же упор должен быть создан и для второго подшипника гидроротора.

в) Лопасти ротора

Установив вал (пока без подшипников) в горизонтальном положении на временных опорах и укрепив на нем обе втулки с дисками, приступают к прибивке шелевок (лопастей). Для этой цели из шелевки нарезают планки длиной по 665 *мм*. Каждую планку распиливают в продольном направлении так, чтобы получились более узкие планки шириной по 90 *мм*. На каждую лопасть надо по 6 планок, а на все 6 лопастей (у трех ярусов роторов) —36 планок.



Фиг. 19. Сопряжение планок тесовой обшивки лопасти ротора.

а — прямой стык; *б* — косой стык; *в* — прямой стык со шпунтованной рейкой; *г* — прямой стык в накладку с уступом.

Особого внимания требует такое устройство обшивки лопастей тесом, которое обеспечило бы достаточную плавность изогнутой поверхности лопастей и вместе с тем хорошую водонепроницаемость в местах стыковых соединений между продольными гранями смежных планок обшивки.

Ниже мы приведем описание четырех способов устройства обшивки, предоставляя читателям выбор из них того способа, который окажется им более под силу, учитывая местные возможности.

На фиг. 19,*а* показана прибивка планок в прямой стык друг к другу. Это наиболее простой, но наименее удачный способ, так как он не обеспечивает водонепроницаемости в местах стыковых соприкасаний планок друг к другу. Несколько лучше способ 19,*б*. Здесь видно,

что края планок скошены (на 18°) и могут перекрывать друг друга на длину 18 *мм*. Благодаря этому скосу получается достаточная водонепроницаемость. При этом способе на одну лопасть уйдет не 6 планок, а 7 (значит, всего тогда понадобится не 36, а 42 планки). Планки прибивают гвоздями, которые заранее надо заершить легкими ударами зубилом. Гвозди следует прибивать через отрезки неширокой тонкой ленты из кровельного или оцинкованного железа. Необходимо брать нетолстые гвозди, но с широкими шляпками.

Первую с края планку накладывают так, чтобы своей второй заостренной кромкой она прилегала к накладке. Следующая за ней планка своим косо срезанным краем должна налегать на срезанный край уже прибитой планки и т. д.

Значительно лучше, но несколько труднее в производстве третий способ 19,*в* — прямой стык с применением так называемой потайной рейки. Рейка — это узкая деревянная лента толщиной 2 *мм*, шириной 10 *мм*, закладываемая в виде шпунта в пазы между двумя смежными планками. Делается это так. Сначала прибивают на свое место первую планку с уже готовым пазом. В ее паз забивают деревянной киянкой рейку — ленту. Затем подносят к рейке край второй планки. Надевая ее паз на рейку первой планки, легкими ударами киянки вгоняют рейку в паз второй планки. Прибивают к накладке эту вторую планку и дальше снова повторяют те же операции.

Наконец, четвертый способ 19,*г* заключается в том, что у каждой планки выбирается паз в полдерева на глубину 13 *мм*. Затем своим краем одна планка накладывается впритык на выступ другой планки и прибивается гвоздями к накладке.

Следует отметить, что в качестве обшивки могла бы быть применена и фанера, в особенности многослойная. Это упростило бы все операции и дало бы возможность получить хорошую плавность изгиба поверхности и водонепроницаемость. Однако, фанера — недолговечный материал для условий работы в воде. В этом отношении более подходящей была бы обшивка кровельным железом или, например, алюминиевыми листами. Если есть возможность использовать такой материал, то это было бы лучшим выходом из положения. Если же этой возможности нет, то тесовую обшивку надо предпочесть фанерной.

Применяя обшивку из кровельного железа или алюминия, надо увеличить ее жесткость, добавляя на каждый ярус одну промежуточную накладку внутри лопасти, примерно по середине между двумя дисками ротора. Тогда обшивку прибивают к этой накладке гвоздями с широкой шляпкой.

Покончив с изготовлением лопастей одного яруса ротора, переходят ко второму ярусу, а затем и к третьему.

г) Отбалансировка ротора

Собранный трехъярусный ротор необходимо отбалансировать. Для этой цели надевают на обе шейки вала его подшипники и устанавливают их на временных опорах (козлах), так чтобы ротор был в строго горизонтальном положении. При этом проверяют, насколько вал ротора свободно вращается в подшипниках. Если проверка покажет, что в какое положение мы бы ни привели ротор, он неизменно возвращается в одно и то же первоначальное состояние, то это доказывает, что одна сторона ротора перевешивает другую. Такой ротор является неотбалансированным и его пускать в работу нельзя во избежание биений, которые он будет испытывать при работе. Эти биения разрушающим образом будут действовать на всю установку и очень скоро выведут ее из строя.

Отбалансировать ротор — это значит добиться того, чтобы он был строго уравновешенным. Сделать это можно прибавлением материала ко всем четырем дискам в том месте, где расположена более легкая сторона ротора. Добавлять можно, например, материал в виде четырех отрезков полосового железа с отверстиями для гвоздей, с помощью которых они могут быть прибиты поближе к торцам дисков и непременно в одинаковых местах у всех четырех дисков.

д) Устройство передачи к генератору

На одном из крайних дисков, а именно на том, который при установке ротора на реке будет ближайшим к берегу (с которого будет осуществляться уход за установкой), устраивают желобок для тексропного ремня, передающего вращение электрогенератору. Этот желобок должен иметь достаточную глубину и правильно выто-

ченные стенки для того, чтобы при вращении ротора ремень не заедало или же он не выскакивал из желобка [1].

Для такой незначительной мощности, как 0,3 *квт*, при отсутствии тексропного ремня можно применить резиновый, изготовив его из куска утильной автомобильной камеры. Для этой цели кусок камеры аккуратно разрезают в виде спиральной ленты, соблюдая одинаковую ширину (6 *мм*) на всем ее протяжении. Этим способом из небольшого куска камеры можно вырезать довольно длинную резиновую ленту. Ее нужно закрутить жгутом, чтобы получилось подобие круглого ремня толщиной 5 *мм*, концы которого надо прочно склеить хорошим резиновым клеем, чтобы получился бесконечный ремень. Длина ремня-жгута должна быть такой, чтобы, будучи надетым на шкивы, он был хорошо натянут. Для мощностей более 0,3 *квт* резиновый ремень непригоден.

При скорости течения воды в реке 1 *м/сек* ротор будет делать 32 об/мин. В случае применения тихоходного генератора, имеющего 750 об/мин, соотношение передачи получается 1 : 24. Это значит, что при диаметре желобчатого диска ротора 600 *мм* желобчатый шкивок на валу генератора должен иметь диаметр 25 *мм*. Тогда достаточно иметь одноступенчатую передачу, т. е. передать вращение ротора на шкивок генератора без промежуточной трансмиссии, как это показано на фиг. 20 [2]. Однако на местах редко когда удается достать такой тихоходный генератор. Обычно приходится располагать более быстроходными генераторами, делающими 1 500 или даже 3 000 об/мин. Для этих случаев соотношение передачи получается 1 : 48 или даже 1 : 96, значит, потребуется промежуточная трансмиссия.

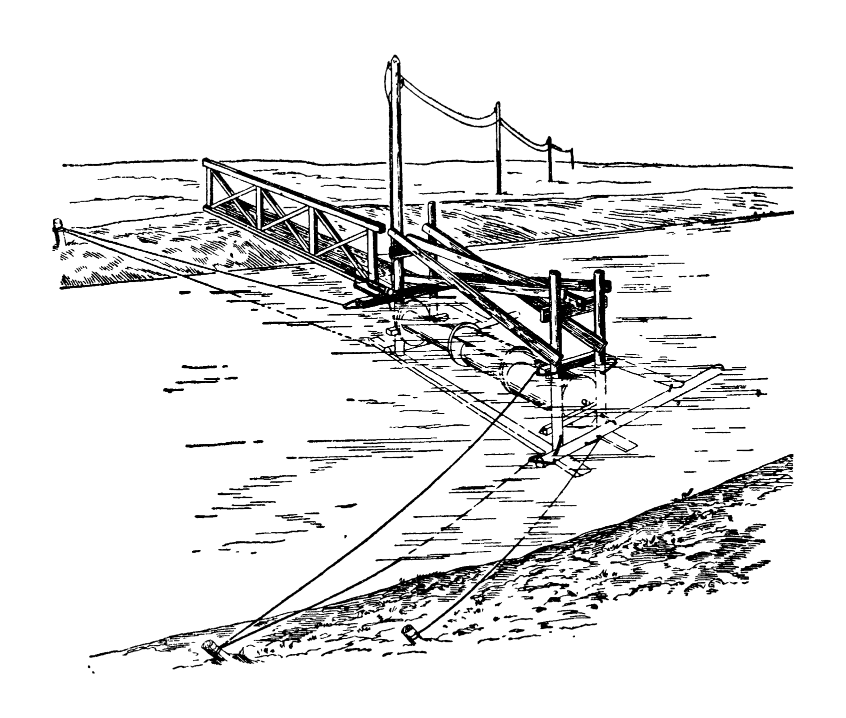
Промежуточную трансмиссию устраивают в виде стального валика, вращающегося в двух шарикоподшипниках и имеющего два желобчатых шкива, из них малый шкив должен иметь диаметр 60 *мм* (т. е. передача 1 : 10).

---

[1] Если вместо одного генератора в 250 *вт* можно располагать двумя меньшей мощности, то второй из них можно приводить в движение от второго крайнего диска гидроротора.

[2] Хотя на фиг. 20 группа столбов с проводами показана отходящей от станции с низовой стороны течения реки, на самом деле лучше ее делать отходящей с верховой стороны. В этом последнем случае натяжение проводов будет способствовать большей устойчивости каркаса станции против опрокидывающих усилий течения. — *Автор.*

Диаметр большого шкива промежуточной трансмиссии зависит от числа оборотов генератора. Так, если генератор имеет 1 500 об/мин и на нем стоит шкивок диаметром 25 *мм*, тогда большой шкив на промежуточной трансмиссии должен иметь диаметр 120 *мм* или вдвое



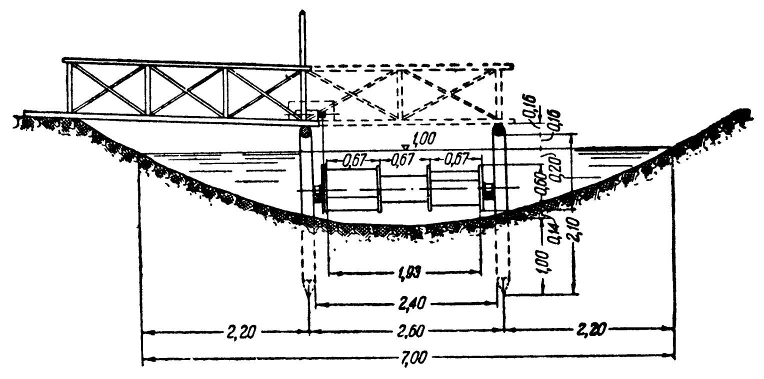
Фиг. 20. Роторная гидротурбина с горизонтальной осью вращения, установленная на салазках поперек течения реки.

больший, если генератор делает 3 000 об/мин. В случае применения тексропного ремня лучше делать шкивок на генераторе несколько большего диаметра, чем 25 *мм*. Соответственно этому тогда и большой шкив на промежуточной трансмиссии должен быть больше указанного. Промежуточную трансмиссию укрепляют с одного края мостика над свайной опорой, а генератор — с другого края мостика.

13. КОНСТРУКЦИЯ КАРКАСНЫХ ОПОР ДЛЯ ПОДШИПНИКОВ ГИДРОРОТОРА

а) Свайные опоры

Переходим к устройству опор для подшипников гидроротора, которые определяют общий облик установки. Сначала рассмотрим устройство неподвижных свайных опор при неглубокой реке, изображенное на фиг. 21. Представим себе, что в данном месте за все время года, исключая время разлива и маловодья, обычная ширина



Фиг. 21. Роторная деревянная гидротурбина с горизонтальной осью вращения, установленная на свайных опорах.

реки равна 7 *м*, а ее наибольшая глубина 1 *м*. Для установки ротора выбирают летнее время, когда уровень воды в реке наименьший. Ротор должен быть установлен приблизительно по середине реки. На расстоянии 2,6 *м* друг от друга устанавливают вертикально два заранее приготовленных бревенчатых каркаса[1], на среднем горизонтальном брусе которых укреплен подшипник для вала гидроротора. Вертикальные бревна-стойки каркаса своими заостренными концами должны быть углублены в грунт дна реки на глубину не менее 1 *м* (при бо́льших скоростях воды, чем 1 *м/сек* углубление должно быть больше). Таким образом, общая высота стойки должна быть не менее 2,2 *м*. Ширина стойки, т. е. расстояние между ее вертикальными бревнами, равно 1 *м*.

---

[1] Под словом „каркас" следует понимать сквозной решетчатый остов, станину, опору, составленные из взаимно-скрещивающихся или сопрягающихся отрезков бревен, брусьев, досок. — *Автор.*

С низовой стороны стойку каждого каркаса подпирают упором, верхний конец которого врублен в стойку и укреплен заершенной скобой, а нижний — упирается в поперечный кругляк, с которым он соединен двумя скобами. Нижний конец упора должен быть заглублен в дно реки по меньшей мере на полметра. Для уменьшения давления потока на стойки оба конца каждой из четырех горизонтальных перекладин должны быть стесаны на острие.

Чтобы предохранить гидроротор от засорения и ударов плавающими в воде твердыми предметами, полезно на расстоянии 2—3 *м* с верховой стороны забить в дно реки частокол (на длину ротора) из сваек, головки которых должны быть на уровне мостика. Расстояние между свайками 200 *мм*.

На ближайшую к берегу свайную опору перекинут мостик с перилами. Мостик желательно продолжить до второй опоры. Поверх промежуточной трансмиссии, ремня между ней и генератором, а также поверх генератора надо устроить съемный ящик-кожух для защиты этих предметов от атмосферных осадков и для предохранения людей от несчастных случаев. Вход на мостик посторонним лицам должен быть запрещен.

Электропроводка от генератора в виде изолированного провода идет по стояку, прикрепленному к каркасу, и оттуда сходит к изолятору на столбе, установленном на суше.

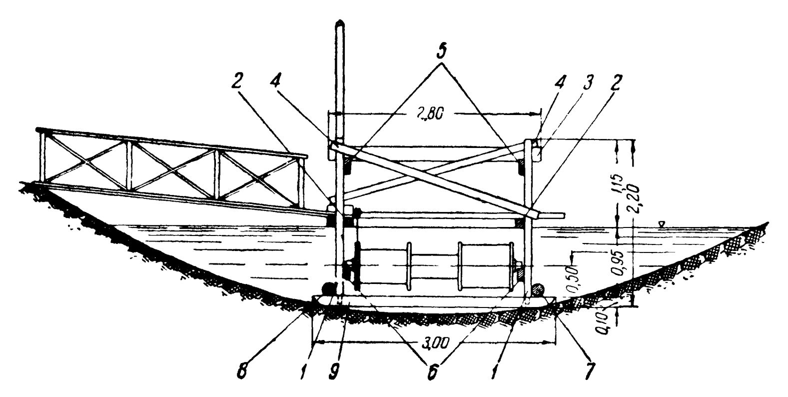
б) Опоры „на салазках"

В тех случаях, когда грунт дна реки скалистый и вообще настолько твердый, что не поддается работам по заглублению и забивке свайных опор, можно рекомендовать второй вариант опорного устройства гидроротора (фиг. 22). При этом устройстве всю гидроустановку целиком собирают на суше, на особых салазках, а затем спускают в воду и укрепляют на канатах.

Для этой цели на выровненной площадке вблизи от береговой линии собирают бревенчатый каркас опорных стоек. *1*. Кроме вертикальных бревен *1* и горизонтальных брусьев *2* каждая стойка укреплена накрест двумя подкосами *4*, увеличивающими жесткость стойки. Вертикальные бревна стоек имеют ту же высоту 2,1 *м*, но погружены в воду лишь наполовину своей высоты. Верхняя часть каждой стойки выступает из воды на высоту

1,15 *м*. К верхней части стойки крепится поперечная доска *5*. В нижней части кроме опорного поперечного бруса *6* (для подшипника) стойка имеет бревенчатую поперечину *7* (и *8*) с выступающим назад на 2 *м* концом для упора в дно реки. Своими нижними шипами стойки входят в гнезда, выдолбленные в паре продольных салазок *9*. Кроме посадки на шипах салазки надежно прикреплены к стойкам заершенными скобами.

Салазки — это две пластины длиной по 3 *м* с закругленными вверх нижними торцевыми кромками на обоих



Фиг. 22. Роторная гидротурбина, установленная на салазках поперек течения реки.

1 — стойки; *2* — средние поперечные брусья; *3* — горизонтальная продольная доска, соединяющая обе стойки в их верхней части; *4* — подкосы, увеличивающие жесткость каркаса; *5* — верхние поперечины; *6* — опорные поперечные брусья, на которых смонтированы подшипники гидроротора; *7* и *8* — нижние поперечные бревна; *9* — нижние продольные пластины-салазки.

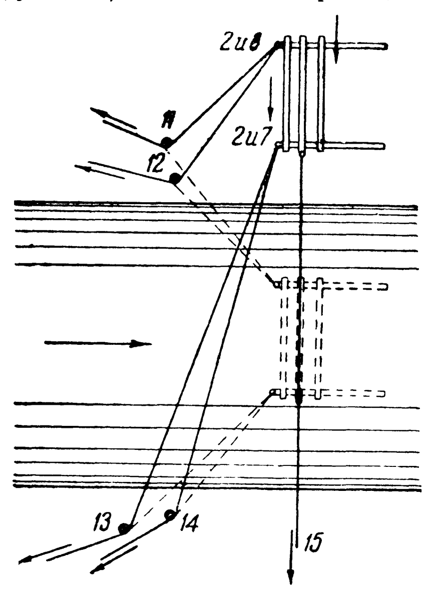
концах. Салазки имеют двоякое назначение: а) служить опорной плоскостью для всего сооружения; б) служить полозьями-салазками при передвижении готового каркаса поперек русла реки. В остальном устройство каркаса по второму варианту не разнится от первого.

Для того чтобы спустить в воду собранный на суше каркас с уже смонтированным на нем гидроротором и генератором, а затем и укрепить его в постоянном положении для работы гидроротора в воде, оснащают каркас канатами (а для более мощных установок — тросами или цепями).

К средним поперечинам *2* и нижним *7* и *8* с верховой стороны надежно прикрепляют четыре железные скобы-

коуши [1], для крепления к ним канатов. Подготовительные работы и способ спуска гидроустановки в воду (при небольшой реке) заключаются в следующем.

Допустим, каркас собирают на левом берегу реки (фиг. 23). На обоих берегах, поближе к береговой линии, закапывают в землю по два толстых бревенчатых кола — *11*, *12*, *13* и *14* так, чтобы они приходились на 3—4 *м* выше (по течению) того места в реке, где будет работать гидроустановка. Около каждого кола становится вспомогательный рабочий.



Фиг. 23. План расположения передвижного каркаса с гидроротором, подготовленным к спуску в воду небольшой реки.

Пунктиром показано положение каркаса после его спуска в воду; *2* и *7*, *2* и *8* — коуши на верхних и нижних поперечинах; *11* — кол с канатом, привязанным к поперечине *8*; *13* — кол с канатом, привязанным к поперечине *7*; *12* и *14* — колы с канатами, привязанными к поперечинам *2*; *15* — тяговый канат, временно перекинутый через коуш, прикрепленный к средней части поперечины *7*.

К каждому коушу каркаса надежно прикрепляют конец длинного каната. Два каната, отходящие к колам *11* и *12* от коуша *8*, могут быть длиной по 10 *м*. Другая пара канатов, отходящих от коуша *7* к колам *13* и *14* должна быть длиной по 16 *м* (при ширине реки не более 7 *м*). Такой же длины должен быть и пятый канат *15*, перекинутый, как и последние два, с левого берега на правый. Концы канатов должны быть в руках рабочих. Каждый рабочий заводит конец своего каната за кол и, натягивая или ослабляя канат, участвует в спуске установки с берега в воду.

[1] Под словом „коуш“ подразумевается железная скоба, прикрепляемая к брусу или бревну с помощью сквозного болта. Для этой цели оба конца скобы должны быть загнуты в виде колец или „ушков“, сквозь которые и проходит крепежный болт. — *Автор.*

Под салазки стоящего в вертикальном положении каркаса подкладывают катки в виде нескольких кругляков. Двое — трое рабочих подталкивают каркас поближе к воде. Этому содействуют остальные рабочие натягиванием своих канатов. При этом рабочие у каркаса и у канатов должны соблюдать условие, чтобы стойки каркаса оставались в вертикальном положении не только во время спуска в воду, но и после окончательного прикрепления концов канатов к колам.

После спуска каркаса в воду и укрепления его канатами перекладывают на него мостик с берега. Для лучшей устойчивости каркаса полезно наложить на его доски гнет в виде тяжелых камней, плит и тому подобного груза.

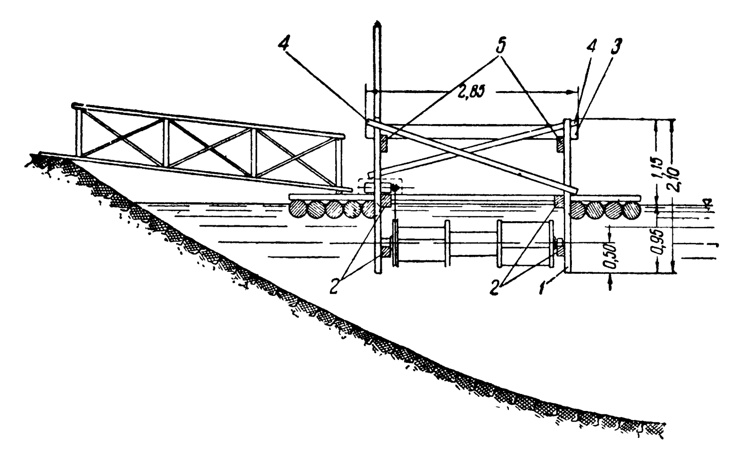
в) Подвесные опоры на поплавках

Вариант поплавкового устройства предусматривает возможность установки гидроэлектростанции на любом месте малой или большой реки, и в том числе на более глубоких местах. Для этой цели устраивают два жестко соединенных друг с другом поплавка (фиг. 24). На один из них перекинут с берега мостик. Для гидророторов интересующей нас небольшой мощности поплавки могут быть сделаны в виде двух плотов, сбитых из круглых бревен длиной 5 *м*. Ближайший к берегу поплавок сбит из 5 бревен толщиной по 250 *мм* (или больше), а второй — из 4 бревен. Бревна соединены друг с другом с помощью железных скоб (с заершенными концами). Расстояние между поплавками в свету 2,4 *м*. Кроме того, оба поплавка жестко скреплены друг с другом при помощи шести досок толщиной 80 *мм* и шириной 250 *мм*. Две из них длиной по 4,85 *м* уложены наискось (фиг. 25), располагаясь ближе к краям плотов, а четыре доски — длиной по 4,65 *м* — уложены поперек средней части обоих плотов, оставляя между ними место для опускаемых в воду деревянных кронштейнов, поддерживающих подшипниковые опоры гидроротора. Крепление поперечных досок к каждому бревну плотов производится с помощью таких же заершенных скоб, а отнюдь не гвоздей или винтов (которые способствовали бы раскалыванию досок, не обеспечивая достаточной жесткости всей системы крепления).

Особого внимания требует устройство деревянного каркаса опорных кронштейнов, сборка которых может

производиться независимо от сборки плотов-поплавков. Переходим к описанию этого устройства.

Основой каждого кронштейна являются две стойки *1*, выполненные из досок толщиной 80 *мм*, шириной 250 *мм*, длиной по 2,1 *м*. Между стойками оставляется просвет шириной 0,5 *м*. Поперек каждой пары стоек прикрепляются к ним с помощью болтов две поперечные перекладины *2*. Именно нижние обе перекладины и являются



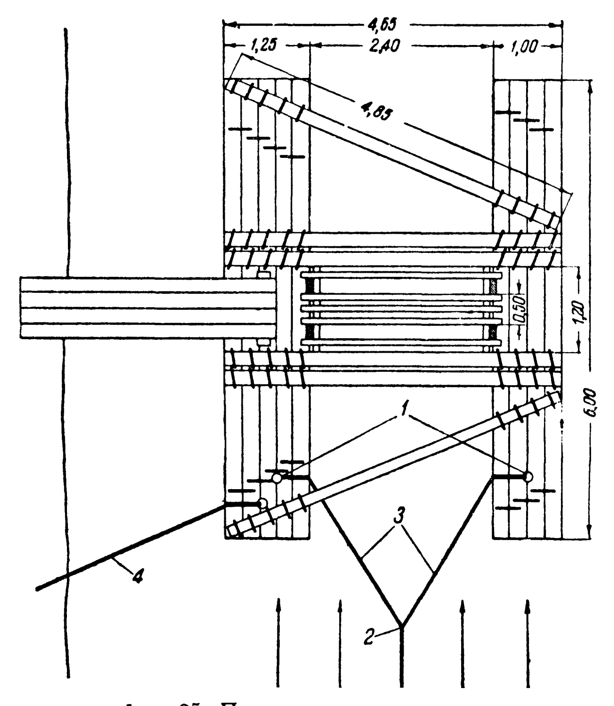
Фиг. 24. Гидроротор, смонтированный на деревянных кронштейнах (опорах), спущенных в воду с поплавков.

1 — стойки кронштейна; *2* — поперечные брусья, из них нижние используются для монтажа опорных подшипников; *3* — горизонтальная продольная доска, соединяющая обе стойки в их верхней части; *4* — подкосы для увеличения жесткости каркаса в продольном направлении; *5* — верхние поперечины.

опорами для подшипников гидроротора. Длина каждой перекладины 1,1 *м*, ее поперечное сечение 250 × 80 *мм*. Обе нижние перекладины желательно делать не из досок, а из брусьев сечением 150 × 150 *мм* (или даже больше). Если же этой возможности нет, то доски надо прикреплять к стойкам не стоймя, как это делается в верхней части стоек, а плашмя, чтобы на них можно было расположить подшипники гидроротора. Для той же цели нижние перекладины должны быть прикреплены на таком расстоянии от нижнего конца стойки *1*, чтобы ось ротора отстояла на 0,5 *м* выше конца стойки.

Для связи между двумя кронштейнами по верхним перекладинам укладывается на ребро (стоймя) и своими врубками прочно прикрепляется к ним горизонтальная

доска *3* того же сечения длиной 2,85 *м*. Кроме того, для увеличения жесткости каркаса по обоим бокам каждой стойки *1* укрепляют подкосы *4* в виде шелевок длиной по 3 *м*, шириной 250 *мм* и толщиной 15—20 *мм*. Таких шелевок нужно заготовить 4.



Фиг. 25. Плоты-поплавки в плане.

1 — отверстия в плоту для крепления троса к бревнам; *2* — узел крепления ветвей „уздечки"; *3* — „уздечка" для якорного троса; *4* — береговой трос.

К паре стоек *1*, составляющих кронштейн, устанавливаемый с той стороны ротора, где находится его желобчатый диск, прибавляется еще одна средняя перекладина в виде бруса 150×150 *мм*, прикрепляемая к стойкам на расстоянии 1 *м* от нижнего конца. На одном конце этой перекладины монтируется промежуточная трансмиссия, а на другом — генератор.

По изготовлении каркаса собирают в нем гидроротор на подшипниках и проверяют, насколько легко он вращается.

Как сборку каркаса, так и сборку плотов — поплавков производят на суше, располагаясь для этой цели на выровненной площадке вблизи от береговой линии. По окончании сборки того и другого проверяют, насколько свободно войдут стойки кронштейнов в место, приготовленное для них на поплавках, и при необходимости делают соответствующие врубки в бревнах или же накладки, которые потом будут удерживать кронштейны против их смещения в горизонтальном направлении.

Закончив эту работу, спускают поплавки на воду, прикрепляя их к берегу временными канатами. Для постоянного крепления поплавков на месте их будущей работы надо заготовить несколько длинных цепей или тросов *3* (фиг. 25). Цепи или тросы *3*, удерживающие поплавки в направлении течения реки, должны быть соединены уздечкообразно с тем, чтобы оба конца «уздечки» можно было привязать к обоим плотам, обвязывая каждый из концов вокруг двух бревен каждого плота. Для этой цели в точках *1* между бревнами выдалбливают долотом достаточно широкое отверстие. От точки *2* уздечки отходит главная цепь (или трос), на конце которой укреплен якорь для устойчивого крепления поплавков против течения.

Для прикрепления поплавков к берегу служит цепь, трос или канат *4*, один конец которого надежно прикреплен к двум бревнам ближайшего к берегу поплавка, а другой — к любому неподвижному предмету на суше. С берега на поплавки перекинут мостик. Как мостик, так и поплавки, во избежание несчастных случаев должны быть окаймлены прочными перилами.

Переходим к описанию монтажа гидроротора с кронштейнами на поплавках. Установив на канатной временной привязи поближе к берегу спущенные на воду поплавки, перекидывают на них мостик с берега и переносят на поплавки по отдельности сначала каркас с опорами для гидроротора, а потом и самый гидроротор. Каркас подтаскивают и устанавливают стойками в вертикальном положении, ставя их временно на вспомогательные подкладки, уложенные над предназначенными для стоек местами на бревнах поплавков.

После этого устанавливают гидроротор на свое место (в подшипниках) и снова проверяют, насколько легко он вращается. Предварительно надевают бесконечный ре-

мень на желобчатый диск ротора, а также на шкивы промежуточной трансмиссии и генератора.

Убирают из-под стоек вспомогательные подкладки и осторожно опускают каркас в проем между поплавками до тех пор, пока гидроротор не скроется под водой. Убедившись, что ротор вращается, продолжают его опускать. Опускание прекращают, как только средняя перекладина с трансмиссией и генератором достигнет уровня мостков. В этом положении прикрепляют каркас к бревнам поплавков, прибивая длинными гвоздями каждую стойку обоих кронштейнов к бревнам поплавков.

В заключение отметим, что поплавковая гидроустановка может работать и в половодье, и в зимнее время, если гидроротору будут созданы условия свободного вращения. Зимой должна быть сделана прямоугольная прорубь над ротором, по ее размерам соответствующая ширине (размаху) и длине ротора. Затем надо следить, чтобы прорубь не затягивало льдом, и в особенности, чтобы свободным от обледенения был сам ротор, а также то место, где бесконечный ремень входит и выходит из воды. Перед приближением времени ледохода надо принять меры защиты гидроустановки от разрушения ледоходом. Для этого надо обрубить лед кругом поплавков, проделать в воде расчищенный ото льда путь к затону (затон должен быть приготовлен, т. е. вырыт на берегу заранее, например, летом или осенью), вынуть из воды цепь с якорем и завести станцию в затон, где она может быть защищена от вредных последствий ледохода. По окончании ледохода гидроустановка может быть вновь поставлена на свое место на реке.

14. ОЦЕНКА РАССМОТРЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Менее удобным является гидроротор по варианту устройства на неподвижных свайных опорах, описанный в начале этой главы. Во время половодья вся гидроустановка вместе с генератором может быть покрыта водой и тогда перестанет работать. Ее оборудование может быть повреждено. Поэтому лучше заблаговременно убрать гидроротор, трансмиссию, генератор, мостки и прочее оборудование с тем, чтобы все это вновь установить по спаде вод. Такую же работу надо проделать в конце зимы

перед ледоходом, если хотят сохранить в целости гидроустановку.

Гидроротор на неподвижных опорах пригоден для равнинных участков рек, расположенных на юге нашей страны, в особенности на Кавказе, где зима короткая, ледостав небольшой, а также ледоход и половодье значительных повреждений причинить не могут.

Гидроротор по второму варианту устройства (на салазках) в этом отношении удобнее, так как салазки и канаты позволяют убирать всю установку на берег на время ледохода и половодья.

Самодельные гидророторы для рекомендуемых мощностей на практике пока еще не были осуществлены. При их постройке по приведенному выше описанию строителям предоставляется свобода выбора конструкции опорного устройства, материала и размеров главного вала и второстепенных деталей самого годроротора. Это позволяет строителям применять в широких пределах имеющиеся у них под рукой детали от утильных сельскохозяйственных машин, металл, строительную древесину и т. п. С этой целью в приведенных чертежах иногда нет указаний на размеры деталей, а только дан их общий вид и характер.

Новизна этих конструкций для будущих строителей может привести к тому, что они не будут гарантированы от всякого рода неувязок, иногда неприятных неожиданностей и даже, может быть, мелких и крупных неудач, которые им придется преодолевать самостоятельно, проявляя большую изобретательность, инициативу, активность и настойчивость.

Однако в том случае, если строителям удастся преодолеть эти неувязки и целесообразно оформить на деле ту или иную конструкцию гидророторной установки, они будут иметь успех, так как в основу описанных конструкций положена правильно разработанная идея свободнопоточного гидроротора, опробованного с положительными результатами в условиях научно-исследовательской работы.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ СТАНЦИИ

15. ВЫБОР ГЕНЕРАТОРА

Генератор для маломощной свободнопоточной гидроустановки можно применить любого типа, но ограниченный по мощности. Желательно, чтобы по своей мощности генератор соответствовал мощности гидроротора. С другой стороны, надо учесть и назначение, которому должна служить свободнопоточная гидроэлектростанция.

Рассмотрим случай, когда гидроротор нашей станции имеет проекцию 1,2 *м*^{2} и должен работать при скорости течения воды в реке 1,0 *м/сек*. По табл. 2 его мощность будет 294 *вт*. Таким образом, мощность генератора должна быть не более 300 *вт*.

Конечно, многое также зависит от того, каким генератором можно располагать при постройке этой станции. Чаще всего на местах речь может итти о генераторе постоянного тока от утильного мотоцикла, трактора или автомашины прежних выпусков. Перечислим вкратце марки таких генераторов. На мотоциклах устанавливают генераторы марки ГМН мощностью 70 *вт* с напряжением 6 *в*. На тракторах ХТЗ, СТЗ, У-1 и У-2 применяются генераторы ГБТ-4541 мощностью 60—80 *вт*, напряжением 6 *в*, силой тока 10 *а* и числом оборотов от 1 100 до 2 000 в минуту. При этих генераторах имеется регулятор напряжения БР-4550. На тракторах «Сталинец» и ЧТЗ применяется генератор ГАУ-4101 мощностью 100 *вт* при напряжении 6 *в*, числе оборотов от 900 до 2 000 в минуту, с тем же регулятором БР-4550. На автомашинах ГАЗ и М-1 применяются генераторы ГМ-71 на 100 *вт*, 6 *в* при 2 100 об/мин. На автомашинах ЗИС-5-6 и ЯГ-4 работает генератор ГБФ-4600 на 60—80 *вт*, 6—8 *в* при 1 600 об/мин. Для автомашин ЗИС-101 применяются генераторы ГЛ-41 на 110—130 *вт*, 6—8 *в* при 1 700 об/мин. На автомашинах ЗИС-21 и автобусах ЗИС-8 применены генераторы ГА-27 на 225—250 *вт*, 12 *в*, 1 200—3 000 об/мин

Таким образом, наиболее подходящим для рассматриваемого случая по своей мощности является генератор постоянного тока ГА-27. Он даст силу тока 20 *а* и имеет вес 19,7 *кг*. При нем имеется реле-регулятор РРА-44, который должен быть отключен за ненадобностью благодаря постоянству числа оборотов гидроротора.

Имея в своем распоряжении автомобильные лампочки напряжением 4—6 *в* и включая их в сеть по 3—4 шт. последовательно, можно от генератора ГА-27 дать свет, достаточный для 20—21 одновременно горящих световых точек. Иными словами, можно обеспечить электроосвещение для сельской школы, избы-читальни или нескольких жилых домов и хозяйственных построек. В школе электротоком можно обслуживать физический кабинет. Вместе с тем, конечно, может быть обеспечена зарядка аккумуляторной батареи для нужд освещения и радиоприема.

Для одновременного питания 20 одноамперных лампочек в течение 8 час. нужна аккумуляторная батарея емкостью 160 *ач* (ампер-часов). Она будет состоять из 8 параллельно включаемых групп емкостью каждая по 20 *ач*. В каждой группе будут по 5 последовательно соединенных аккумуляторов. Общее напряжение каждой группы 10—12 *в* (соответственно напряжению тока, получаемого от генератора ГА-27). Эта батарея аккумуляторов будет обслуживать также питание радиоприемника.

16. СХЕМА СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРИ ГЕНЕРАТОРЕ 12 *в*

Схема соединений электрической части гидроэлектростанции показана на фиг. 26. Для того чтобы от генератора постоянного тока ГА-27 с напряжением в 12 *в* можно было питать осветительную сеть и заряжать не только батарею накала, но и анодную батарею радиоприемника, можно применить барабанный переключатель конструкции Я. М. Бабича [1]. Это приспособление (фиг. 27) дает возможность быстро переключать анодную батарею, распределенную на 8 отдельных групп по 5 элементов в каждой, либо на зарядку, соединяя все группы параллельно, либо на разряд. В этом последнем случае поворотом ручки барабанного переключателя все 8 групп соединяются последовательно между собой.

Разделена анодная батарея на 8 групп по 10 *в* с той целью, чтобы в каждой группе было одинаковое число элементов и чтобы можно было получить общее напряжение 80 *в* для анода радиоламп приемника.

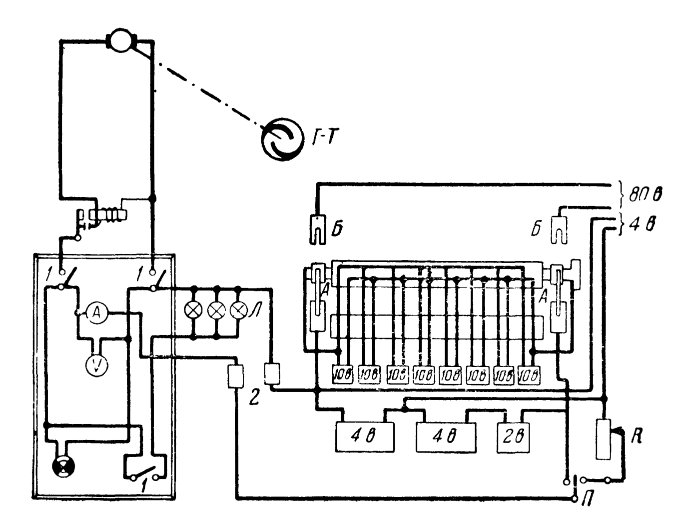
---

[1] См. журнал „Радиофронт“, № 7, 1939 г.

Батарея накала включается на зарядку параллельно анодной батарее (фиг. 26).

В схеме применен добавочный переключатель *П*, позволяющий отдельно подзаряжать батарею накала.

Барабанный переключатель монтируется на подставке из изолирующего материала, имеющей две металлические



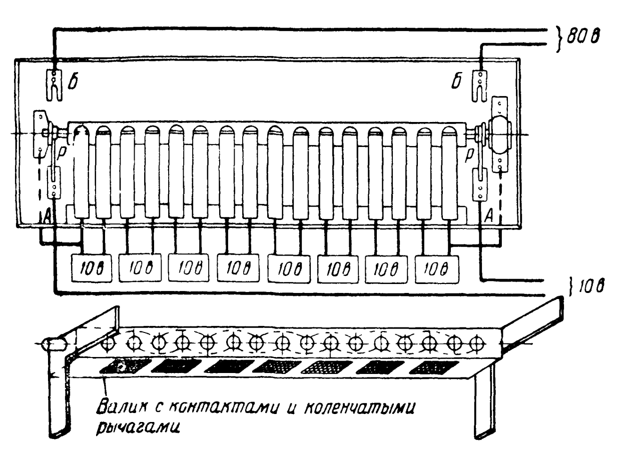
Фиг. 26. Схема соединений электрической части станции.

1 — однополюсные рубильники (из них верхние два могут быть заменены одним двухполюсным рубильником); *2* — двухполюсный предохранитель; *ГТ* — гидротурбина; *П* — добавочный переключатель; *А* и *Б* — контакты; *R* — переменное сопротивление.

стойки, с просверленными в них (на высоте 30 *мм*) сквозными отверстиями диаметром 5 *мм*.

В эти отверстия входят латунные оси четырехгранного валика (барабана), сделанного из изоляционного материала; длина валика — 220 *мм*, поперечное сечение — 15×8 *мм*. На расстоянии 20 *мм* от него устанавливается неподвижно планка—мостик из такого же изоляционного материала. На мостике неподвижно укреплены 16 латунных пластинок, свободные концы которых соприкасаются с верхней стороной поворотного валика. По всей длине валика просверлены 16 сквозных отверстий диаметром 6 *мм*, в каждое из которых вставлена медная гильза от патрона малокалиберной винтовки или трубка, свернутая

из отрезка латунной ленты. Головки этих гильз служат контактами для латунных пластинок неподвижного мостика. Выступающие с противоположной стороны валика концы гильз при помощи медных проводников или пластинок соединяются между собой попарно (через одну гильзу), как показано пунктиром на фиг. 27 (внизу). Эти соединительные проводники необходимо надежно припаять к гильзам. Крайние контактные пластины переклю-



Фиг. 27. Барабанный переключатель конструкции Я. М. Бабича, установлен в положении на зарядку аккумуляторных батарей.

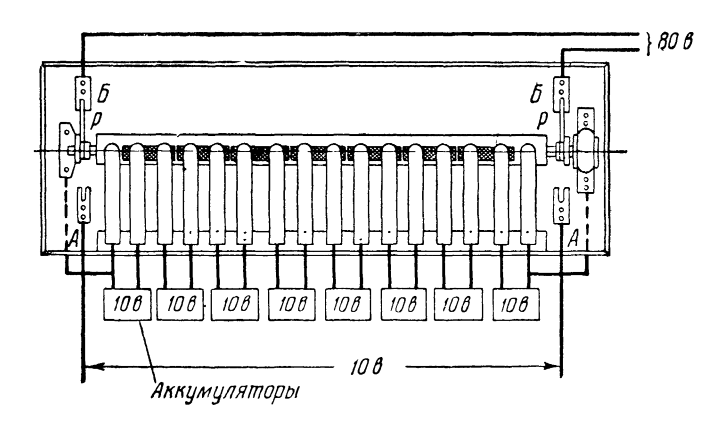
Р — контактные коленчатые рычаги; *А* и *Б* — контакты.

чателя, как показано на фиг. 27 и 28, отдельными проводниками соединяются со стойками валика.

На другой стороне валика делают семь прямоугольных углублений размерами 6×22×0,5 *мм*, в которых монтируются семь коротких отрезков латунной ленты толщиной 1 *мм*. Каждая такая ленточка прикрепляется к валику винтиком или небольшим гвоздем так, чтобы она выступала из углубления на 0,5 *мм*. К концам осей валика припаивают под прямым углом два коленчатых рычага *Р*. Каждый рычаг сделан в виде металлического угольника, два плеча которого длиной по 30 *мм* отходят друг от друга под углом 90° (фиг. 27). При поворотах валика в одну сторону одним своим плечом эти рычаги будут соприкасаться с контактами *Б-Б*, а при повороте в обратную сторону — другим плечом — с контактами *А-А*.

К контактам *А-А* присоединяются два провода от батарей накала (4+4+2 = 10 *в*) и третий — от распределительного щитка, причем один из этих трех проводов подводится через переключатель *П* (фиг. 26).

При положении валика, показанном на фиг. 28, все 8 групп аккумуляторов анодной батареи соединяются последовательно и одновременно сама батарея подключается к разрядной цепи, т. е. к приемнику. Если же повернуть валик переключателя в обратную сторону



Фиг. 28. Барабанный переключатель, установленный в положение питания радиоприемника током от аккумуляторных батарей.

(фиг. 26 и 27), то анодная батарея разбивается на 8 параллельных групп, одновременно подключающихся параллельно к основной накальной батарее. В это положение устанавливается валик переключателя при переводе всех аккумуляторов на заряд.

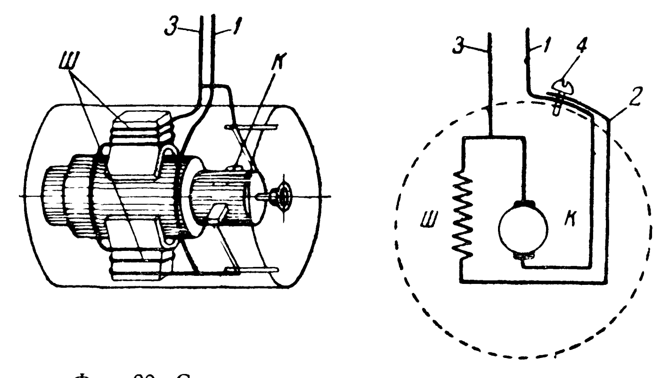
Возможно, что на месте имеется какой-нибудь другой менее мощный генератор, например марки ГБТ-4541 — на 60 *вт*, 10 *а*, 8 *в* (с числом оборотов 1 100—2 000 в минуту); он может обеспечить одновременное горение 8—10 автомобильных лампочек. Для питания этих лампочек в течение 8 час. достаточна батарея аккумуляторов емкостью 64—80 *ач* в составе 10 групп емкостью каждая по 8 *ач*. В каждой группе будут по четыре последовательно соединенных аккумулятора. Этой емкости вполне достаточно и для работы радиоприемника, тем более что

аккумуляторы могут во время радиоприема подзаряжаться от генератора гидростанции.

В этом случае показанная прежде на фиг. 26 схема соединений барабанным переключателем изменится лишь незначительно. В связи с меньшим напряжением генератора нужна анодная батарея из 10 групп, которая потребует увеличения числа контактных пластин на барабанном переключателе с 16 до 20.

17. СХЕМА ПРИ ГЕНЕРАТОРЕ 8 *в*

Коснемся схемы соединений проводов самого генератора ГБТ-4541 (фиг. 29). Буквой *Ш* обозначена шунтовая обмотка, а буквой *К* — коллектор. Из отверстий в корпусе генератора выходят три проводника: один красного цвета и два — черного. В числе черных один более длинный проводник *3* присоединен (внутри генератора) к кол-



Фиг. 29. Схема соединения проводов генератора постоянного тока ГБТ-4541.

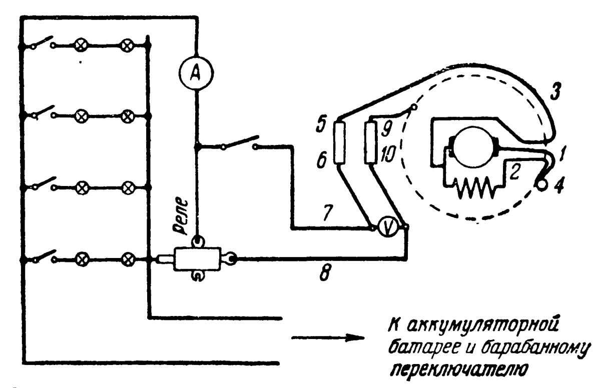
К — коллектор со щетками; *Ш* — шунтовая обмотка магнитных полюсов.

лекторной щетке, установленной на изоляции. Другой черный проводник *1* не изолирован от корпуса. К первому черному проводнику *3* (на изоляции) внутри корпуса генератора присоединен конец от шунтовой цепи возбуждения.

Чтобы получить от генератора ток нужного напряжения, надо обеспечить поступление тока в шунтовую цепь. Для этой цели конец красного проводника *2* шунтовой обмотки соединяют со свободным концом черного провода *1*, идущего от второй коллекторной щетки. Так как

красный проводник *2* не изолирован от корпуса, то можно его и проводник *1* присоединить шурупом *4* прямо к корпусу генератора. Пунктирной окружностью на этой фигуре условно обозначен корпус генератора.

Черный изолированный провод *3* идет от генератора к распределительному щитку станции (фиг. 30), где этот провод присоединен в точке *5* к легкоплавкому предохранителю [1]. От второго контакта *6* этого предохранителя ток идет по проводнику *7* дальше к аппаратам щитка. Корпус



Фиг. 30. Схема присоединения генератора ГБТ-4541 к распределительному щитку и осветительной сети.

генератора соединяют с помощью четвертого проводника *9* со вторым предохранителем. От другого контакта *10* этого предохранителя ток идет дальше к щитку по проводнику *8*.

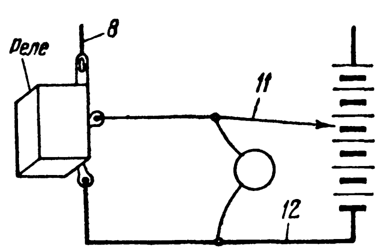
На щитке должны быть смонтированы (в случае наличия аккумуляторов): реле обратного тока типа ВР-4550 (или другого типа), амперметр *А* (можно автомобильного типа), вольтметр и несколько зажимов, предназначенных для включения осветительных проводов или проводов, идущих к заряжаемым аккумуляторам. При необходимости реле может быть взято от автомашин ГАЗ-А или же М-1, типа А-10505. На фиг. 30 провод *8* подведен к контакту реле.

Предварительно необходимо проверить, при каком напряжении реле дает замыкание, т. е. на какое напряжение оно отрегулировано. Для этого берут несколько по-

---

[1] На фиг. 30 показана первая часть схемы соединений — без аккумуляторной батареи и без барабанного переключателя.

следовательно соединенных аккумуляторных элементов или сухих батарей и присоединяют к ним провода *11* и *12*, идущие от реле (фиг. 31). К этим же проводам присоединяют вольтметр *V* на 8 или 12 *в*. Последовательным переключением подвижного конца провода *11* подбирается такое напряжение, при котором реле замыкается (включится). Точно величину этого напряжения определяют по вольтметру. Хорошо отрегулированное реле включается при напряжении 7,2 *в*. В случае необходимости реле можно подвергнуть дополнительной отрегулировке, слегка подгибая пластинку, к которой приклепан якорек реле.



Фиг. 31. Схема соединений для проверки действия реле с помощью аккумуляторной батареи.

ГЛАВА ПЯТАЯ

СВОБОДНОПОТОЧНЫЕ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПОВЫШЕННОЙ МОЩНОСТИ

Особого рассмотрения заслуживает вопрос устройства свободнопоточных гидроэлектростанций несколько большей мощности, чем та, которую могут показать установки, описанные в предыдущих разделах. Чаще всего такой вопрос может возникнуть, когда речь идет о возможности устройства бесплотинной пловучей установки на большой реке.

Выше уже говорилось о том, что батарея из нескольких гидророторов, установленных один за другим на одной и той же паре поплавков, может дать повышенную мощность, кратную числу используемых гидророторов.

При батарейном размещении нескольких гидророторов на одной паре поплавков слишком близкие расстояния между смежными роторами могут привести к тому, что кроме первого все остальные роторы будут показывать все более уменьшающуюся мощность. Произойдет это по той причине, что отработанный первым ротором отходя-

щий от него ко второму ротору завихренный поток воды содержит в себе меньший запас живой силы. Этот запас еще больше уменьшается по мере того, как вода проходит третий, четвертый роторы и т. д.

Если говорить о большом числе слишком близко расположенных друг к другу гидророторов, то подобную установку можно приравнять к неподвижно застрявшему в реке препятствию, которое будет бесполезно обтекаться водой со всех сторон.

Чтобы избегнуть такого последствия, надо гидророторы так расставлять, чтобы между осями дисков двух смежных роторов было расстояние, равное по меньшей мере четырем диаметрам дисков.

Автором этих строк совместно с С. П. Клыковским в 1945 г. был разработан схематический проект поплавковой батареи из четырех гидророторов, расположенных на одной паре поплавков (фиг. 32 и табл. 3).

Каждый ротор имеет длину 6 *м* и размах лопастей 0,85 *м*. Таким образом, площадь проекции одного ротора $F = 5{,}1$ *м*². При скорости потока $v = 2$ *м/сек* и к. п. д. ротора $\eta = 0{,}5$ получаем:

Расход $Q = 5{,}1 \cdot 2 = 10{,}2$ *м³/сек*.

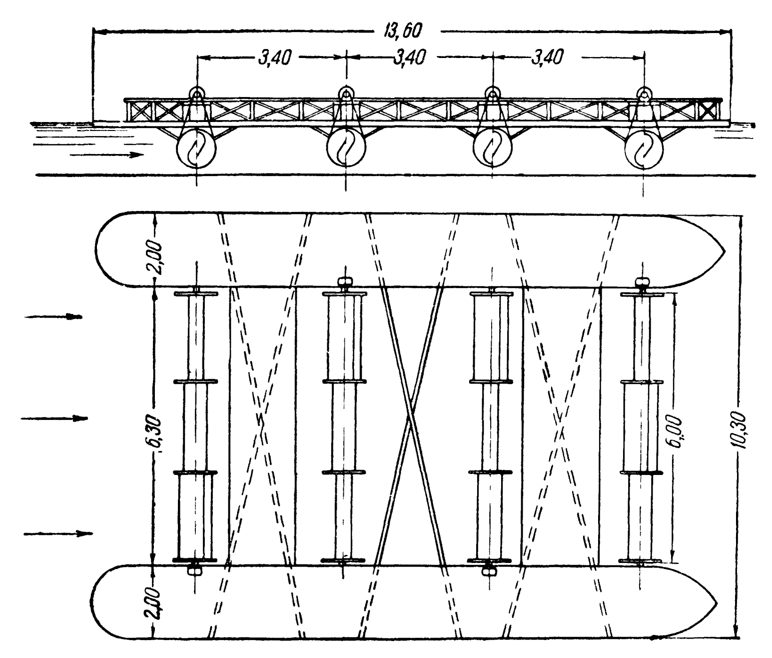
Скоростной напор $H_1 = \frac{4}{19{,}62} = 0{,}2$ *м*.

Мощность $N = 9{,}81 \cdot 10{,}2 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}5 = 10{,}1$ *квт*.

Число оборотов ротора $n = \frac{30 \cdot 2}{3{,}14 \cdot 0{,}43} = 45$ об/мин.

Располагаются роторы один за другим на расстоянии, равном четырем диаметрам диска, т. е. $4 \cdot 0{,}85 = 3{,}4$ *м*. Тогда общая длина несущей части поплавков-плотов будет $4 \cdot 3{,}4 = 13{,}6$ *м*.

Оба поплавка должны быть обтекаемой формы и жестко связаны между собой поперечными перекладинами из брусьев или бревен, укладываемых наискось (или накрест) на таком уровне, чтобы они не были погружены в воду. На перекладинах следует устраивать переходные мостки с перилами. Каждый поплавок имеет ширину 2 *м*, длину 13,6 *м* и изготовляется в виде плота из бревен толщиной 0,25 *м*. Водоизмещение плотов должно быть рассчитано на одновременное нахождение на них четырех человек помимо веса тех деревянных и металлических узлов и деталей, которые размещены выше горизонта воды в реке. Если окажется, что построенные плоты имеют недостаточное водоизмещение, таковое может быть



Фиг. 32. Свободнопоточная поплавковая гидроэлектростанция повышенной мощности с батареей из четырех гидророторов (по проекту Б. Б. Кажинского и С. П. Клыковского).

увеличено прибавлением нескольких дополнительных бревен к краям плотов (снаружи поплавков).

На поверхности поплавков устанавливают 4 электрогенератора (мощностью каждый по 10 *квт*) — по одному для каждого ротора, размещая два генератора на одном поплавке и два — на другом. Передача вращения от каждого ротора к его генератору производится помощью цепи Галля. Для этой цели на внешнем диске ротора укреплен обод с соответствующими зубцами, а на валу генератора — звездочка [1]. В случае применения тихоходного генератора, имеющего 900 об/мин, соотношение передачи $i = 1 : 20$. Это значит, что при диаметре диска у ротора 850 *мм* звездочка на валу генератора должна иметь диаметр 42,5 *мм*. Если же генератор быстроходный и делает

[1] Зубчатый обод для цепи Галля укрепляется на внешнем диске с той стороны ротора, которая будет соответствовать местона-

Таблица 3

Технические показатели свободнопоточной гидроэлектростанции с одной и четырьмя роторными турбинами при проекции ротора $F = 5{,}1$ *м*² и при различных скоростях воды в реке

Скорость воды в реке, *м/сек*	Мощность, *квт*			Число оборотов ротора в минуту
	на 1 *м*² проекции ротора	при одной турбине с проекцией $F = 5{,}1$ *м*²	при четырех турбинах с проекцией роторов $4\ F = 20{,}4$ *м*²	
1,0	0,25	1,28	5,12	22
1,2	0,43	2,19	8,76	27
1,4	0,69	3,52	14,08	31
1,6	1,03	5,25	21,00	36
1.8	1,46	7,43	29,72	40
2,0	2,00	10,20	40,80	45
2,2	2,66	13,58	54,32	49
2,4	3,43	17,66	70,64	53
2,6	4,40	22,44	89,76	58
2,8	5,49	28,02	112,08	62

1 500 или 3 000 об/мин, тогда нужна промежуточная передача (или трансмиссия), устанавливаемая на досках, прибитых к бревнам поплавков. Трансмиссия состоит из стального валика, вращающегося в двух шарикоподшипниках и имеющего две звездочки, из них одну диаметром 42,5 *мм*, а другую либо 68 *мм* (т. е. передача 1 : 1,6), если генератор имеет 1 450 об/мин, либо 140 *мм* (т. е. передача 1 : 3,3), если генератору нужно обеспечить 3 000 об/мин. Звездочка на генераторе должна иметь тот же диаметр 42,5 *мм*.

Цепь Галля и малая зубчатка — «звездочка» для нее могут быть взяты велосипедного типа. Что касается большой зубчатки на диске ротора, то она может быть сделана из одного или нескольких кусков полосовой стали 75 × 5 *мм*. Стальную полосу надо изогнуть в ее плоскости (в горячем состоянии) по кругу диаметром 850 *мм* (диаметр диска). Зубцы по наружному краю изогнутой полосы надо выпилить, в точности соблюдая профиль и шаг

хождению генератора на поплавке. Таким образом, два ротора должны иметь зубчатый обод на левом внешнем диске (считая по направлению течения), два других ротора — на правом внешнем диске. — *Автор.*

(расстояние между зубцами), которые имеются у малой зубчатки. Крепить изогнутую полосу с зубцами к диску надо двенадцатью болтами 6 *мм*, для которых должны быть просверлены соответствующие отверстия и в полосе и в диске. При работе станции зимой надо следить, чтобы цепь Галля и «звездочка» не обмерзали льдом. При обмерзании время от времени надо сбивать лед на обледеневших местах передачи.

В случае применения промежуточной трансмиссии генераторы на поплавках надо ставить на такое место, чтобы получилось достаточное расстояние между осью промежуточной трансмиссии и осью генератора. Вместе с тем, надо обеспечить, чтобы передаточные цепи трансмиссии и сами электрогенераторы находились выше уровня воды в реке и были закрыты кожухами в виде деревянных ящиков, поставленных вверх дном.

В случае, если при имеющейся скорости воды в реке батарея из четырех гидророторов данной проекции не может обеспечить достаточную мощность и ее желательно было бы увеличить, например, в 2—3 раза, то этого можно достигнуть, построив не одну, а 2—3 батареи. Тогда парные поплавки с батареями роторов следует располагать цепью друг за другом вдоль по фарватеру реки.

Конечно, предполагается, что перед постройкой гидророторных установок повышенной мощности будут проделаны необходимые изыскания на реке в натуре, чтобы определить как скорость речного потока, так и место, на котором можно располагать цепь пловучих гидростанций, избегая излишнего стеснения фарватера реки для плавания судов (если река судоходная).

Вместе с тем надо обдумать выбор места и устройство затона, в который можно заводить одну за другой все гидростанции перед наступлением ледохода. Для успеха работ по строительству свободнопоточных гидроэлектростанций повышенной мощности желательно, чтобы к этому делу привлекались лица, имеющие опыт строительства таких же станций, хотя бы и малой мощности.

В заключение данного раздела отметим, что свободнопоточные водносиловые установки повышенной мощности могут быть построены также с гидророторами, имеющими вертикальную (а не горизонтальную) ось вращения. И в самом деле, поскольку речь идет о повышенной мощности, то это означает, что в первую очередь такую мощность доступнее всего получить от большой и глубоко-

водной реки, чем от небольшой речки. Только большая глубина речного потока позволяет создать нормальные условия для работы вертикально поставленного гидроротора.

Инженер Ф. И. Михайлов в 1946 г. предложил устройство многороторной свободнопоточной станции в составе нескольких групп, или, как он называет, «батарей». Вертикальные гидророторы в каждой «батарее» расставлены по 4—6 шт. в виде своеобразной «решетки». Если смотреть на установку в плане, то можно видеть, что гидророторы каждой «батареи» поставлены в два ряда в шахматном порядке Роторы размещены в рабочем канале между вертикальными стенками двух жестко соединенных друг с другом и глубокосидящих в воде понтонов. Каждый понтон представляет собой подобие баржи, уширенной по ее середине и плавно суживающейся к обоим концам. «Нос» и «корма» баржи имеют острую вертикальную грань. Таким образом, рабочий канал имеет расширение у входа и выхода и сужение в средней части. Такую форму канала можно считать целесообразной.

Принятое автором условие вертикально поставленной оси вращения ротора является приемлемым, но только для речных потоков глубиной от 2,5 *м* и более. Иначе говоря, вертикально поставленная ось ротора делает подходящими гидроустановки предложенного типа для таких рек, как Днепр, Волга, Енисей, Лена, Ангара и др. Для рек глубиной менее 2,5 *м* гидророторы должны иметь горизонтальную ось вращения, поставленную по своей длине поперек течения.

Следует подчеркнуть, что установки с вертикально поставленными гидророторами имеют свои достоинства (вывод вертикального вала вверх над водой, что позволяет иметь передаточный механизм, не смачиваемый водой). Отметим, что именно для глубоководных больших рек получение гидроэнергии с помощью плотин, преграждающих свободное течение, доступно лишь в исключительных случаях (подобно Днепрогэс). До тех пор, пока на этих реках будут построены мощные и сверхмощные гидроэлектростанции, сравнительно небольшая потребность в энергии для прибрежных хозяйств и организаций может быть покрыта «батареями», или «цепочками» из нескольких «батарей» свободнопоточных станций (безразлично — с вертикальными или горизонтальными гид-

роторами). Поэтому должны быть созданы условия для проектирования, а потом и постройки свободнопоточных гидроэлектростанций по описанным выше схемам, сначала в виде небольшой пробной установки с одиночным гидроротором, а затем и более мощной «батареи», или даже «цепочки» из «батарей».

ЛИТЕРАТУРА

по свободнопоточным водосиловым установкам

1. К. Э. Утц, Пловучая гидростанция с сифонным трубопроводом, «Гидротехническое строительство, № 2, 1946 г., стр. 26.
2. В. С. Иванова и В. К. Кузнецов, Сельскохозяйственные гидроэлектростанции, Сельхозгиз, 1940 г., стр. 80.
3. Б. Б. Кажинский, МикроГЭС и МикроВЭС, Госпланиздат, 1946 г., стр. 136.
4. Б. Б. Кажинский, Маломощная гидроэлектростанция, «Радио», № 10, 1949 г., стр. 25—30.
5. Б. Б. Кажинский, Результаты конкурса НКЗема по проектам сельскохозяйственных электростанций, «Электрификация», № 7—8, 1926 г., стр. 12—19.
6. А. Д., Новая водяная турбина, «Хочу все знать», № 2, 1926 г, стр. 61—63.
7. Ф. П. Моргуненков, Заметка о пловучей гидроустановке, «Вестник ирригации», № 4, 1924 г.
8. К. Ф. Костин, Пловучие гидроэлектрические станции, «Вестник инженеров и техников», № 1, январь 1940 г., стр. 40—43.
9. С. В. Каплинский, Водяные силовые установки, Гизместпром, 1946 г.
10. В. Н. Пинегин, Гидравлические двигатели, изд. второе, Госэнергоиздат, 1934 г.

Зависимость мощности (N *квт*) гидророторов свободнопоточной водносиловой установки при их к. п. д. $\eta=0,5$ от средней скорости течения (v *м/сек*) и суммарной площади проекции гидророторов ΣF

Средняя скорость течения реки v, *м/сек*	Мощность гидророторов в *квт* при суммарной площади их проекции							
	$F=1$ *м²*	$F=5$ *м²*	$F=20$ *м²*	$F=30$ *м²*	$F=40$ *м²*	$F=60$ *м²*	$F=70$ *м²*	$F=80$ *м²*
0,8	0,125	0,63	2,5	3,75	5,0	7,5	8,7	10
1,0	0,250	1,25	5,0	7,50	10,0	15,0	17,5	20
1,2	0,430	2,15	8,6	12,90	17,2	25,8	29,1	34
1,4	0,685	3,43	13,7	20,55	27,4	41,5	48,4	54
1,6	1,030	5,14	20,6	30,90	41,2	61,7	72,0	82
1,8	1,545	7,73	30,9	46,35	61,8	92,7	108,2	123
2,0	2,000	10,00	40,0	60,00	80,0	120,0	140,0	160
2,2	2,665	13,32	53,3	79,95	106,6	159,8	186,5	213
2,4	3,450	17,25	69,0	103,50	138,5	207,0	241,5	277
2,6	4,400	22,00	88,0	132,00	176,0	264,0	308,0	352
2,8	5,495	27,47	109,9	164,85	219,8	329,7	384,7	439
3,0	6,755	33,77	135,1	202,75	270,2	405,3	472,9	540
3,2	8,225	41,12	164,5	246,75	329,0	493,5	575,8	658

Примечания: 1. Чтобы получить значения мощности, соответствующие суммарной проекции, разнящейся от указанных в таблице, достаточно цифры столбца, относящегося к $F=1$ *м²*, умножить во столько раз, во сколько площадь интересующей нас проекции гидророторов больше, чем 1 *м²*.

2. На стр. 2 обложки этой книги помещена справочная таблица расхода (Q *м³/сек*) и мощности (N *квт*) речного потока в зависимости от средней скорости течения (v *м/сек*) и площади поперечного сечения (F *м²*) речного потока.

Цена 2 р. 25 к.